

ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่อัตราส่วนคอร์ตอวี่เนียร์ต่างกัน



พันตรีหญิง ปวีศา ธรรมวานิช

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมประดิษฐ์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-53-1700-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH OF IN-CERAM AND IPS EMPRESS 2 WITH
DIFFERENCES IN CORE : VENEER RATIO



Major Pawarisa Thomvanich

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Prosthodontics

Faculty of Dentistry
Chulalongkorn University
Academic Year 2004
ISBN 974-53-1700-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ต่างกัน
โดย	พันตรีหญิง ปวีศา ธรรมวานิช
สาขาวิชา	ทันตกรรมประดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราวรภักดิ์ ซาลิมี่
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. แมนสรวง อักษรนุกิจ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

.....คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง จุติมา ภูศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราวรภักดิ์ ซาลิมี่)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร.แมนสรวง อักษรนุกิจ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ เฉลิมพล ลีโวโรจน์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. อรพินท์ แก้วปลั่ง)

พันตรีหญิง ปวีริศา ธรรมวานิช : ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมและไอพีเอสเอมเพรส 2 ที่อัตราส่วนคอร์ตอวีเนียร์ต่างกัน (BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH OF IN-CERAM AND IPS EMPRESS 2 WITH DIFFERENCES IN CORE : VENEER RATIO) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราวรรมภ์ ซาลิมี่ ,อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. แมนสรวง อักษรนุกิจ , 67 หน้า ISBN 974-53-1700-4

การวิจัยนี้เป็นเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมและไอพีเอสเอมเพรส 2 ซึ่งมีอัตราส่วนความหนาของชั้นคอร์และวีเนียร์แตกต่างกัน โดยวัดจากค่าเฉลี่ยของความแข็งแรงดัดขวางสองแกน โดยทำขึ้นทดสอบเซรามิกเป็นแผ่นกลมจำนวน 100 ชิ้น เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ± 0.5 มม. ความหนา 1.2 ± 0.005 มม. ได้รับการขึ้นรูปตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต แบ่งขึ้นทดสอบเป็น 10 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยกลุ่มที่ 1-5 เป็น อินซีแรมร่วมกับวีเนียร์ฟอร์ซเลน vitadur alpha ซึ่งมีอัตราส่วนความหนาของชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 = 1.2 : 0, กลุ่มที่ 2 = 0.8 : 0.4, กลุ่มที่ 3 = 0.6 : 0.6, กลุ่มที่ 4 = 0.4 : 0.8, กลุ่มที่ 5 = 0 : 1.2 และกลุ่มที่ 6-10 เป็น ไอพีเอสเอมเพรส 2 ร่วมกับวีเนียร์ฟอร์ซเลน IPS Eris ซึ่งมีอัตราส่วนความหนาของชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์ ดังนี้ กลุ่มที่ 6 = 1.2 : 0, กลุ่มที่ 7 = 0.8 : 0.4, กลุ่มที่ 8 = 0.6 : 0.6, กลุ่มที่ 9 = 0.4 : 0.8, กลุ่มที่ 10 = 0 : 1.2 นำชิ้นตัวอย่างทั้งหมดมาทดสอบหาความแข็งแรงดัดขวางสองแกนตามมาตรฐาน ISO 6872 ปี 1995 โดยใช้เครื่อง Instron 5583 (Instron, Canton, MA, USA) ที่ความเร็วหัวกด 1 มม. ต่อนาที ผลการทดสอบพบว่า ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของแต่ละกลุ่มมีดังนี้กลุ่มที่ 1=433.06±68.37 MPa กลุ่มที่ 2=338.90±22.56 MPa กลุ่มที่ 3=294.43±15.19 MPa กลุ่มที่ 4=259.94±14.53 MPa กลุ่มที่ 5=56.59±10.54 MPa กลุ่มที่ 6=288.31±44.64 MPa กลุ่มที่ 7=246.34±28.16 MPa กลุ่มที่ 8=258.63±27.87 MPa กลุ่มที่ 9=226.59±26.37 MPa กลุ่มที่ 10=68.56±5.52 MPa เมื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้ ANOVA และ Tamhane's Test พบว่า อินซีแรมทั้งชั้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนสูงกว่าแบบ 2 ชั้นโดยที่เมื่อความหนาของชั้นคอร์ลดลงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนก็ลดลงตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$) ส่วนไอพีเอสเอมเพรส 2 ทั้งชั้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างจากไอพีเอสเอมเพรส 2 แบบ 2 ชั้นอย่างไม่มีนัยสำคัญในทุกอัตราส่วนความหนาของคอร์และวีเนียร์ ($p < .05$) จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า อัตราส่วนคอร์ตอวีเนียร์มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรม แต่ไม่มีผลต่อไอพีเอสเอมเพรส 2

ภาควิชา..... ทันตกรรมประดิษฐ์..... ลายมือชื่อผู้คิด.....
 สาขาวิชา..... ทันตกรรมประดิษฐ์..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4576110532; MAJOR PROSTHODONTICS

KEYWORD : ALL CERAMIC, BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH , VENEER PORCELAIN, CORE : VENEER RATIO

MAJOR PAWARISA THOMVANICH: BIAXIAL FLEXURAL STRENGTH OF IN-CERAM AND IPS EMPRESS 2 WITH DIFFERENCES IN CORE : VENEER RATIO. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PAROM SALIMEE, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASST. PROF. MANSAUNG ARSORNNUKIT , Ph.D. 67 pp. ISBN 974-53-1700-4.

The objective of this study was to investigate the strength of In-Ceram and IPS Empress 2 with different thickness of core and veneer ratio by means of biaxial flexural strength (BFS). A total 100 disc samples, diameter 15 ± 0.5 mm. with 1.2 ± 0.005 mm. in thickness, were fabricated following manufacturer's recommendations. The samples were divided into 10 groups (n=10, each), group 1-5 were In-Ceram (Vita ,Zahnfabrik,BadSackingen, Germany) with veneer porcelain vitadur alpha (Vita Zahnfabrik,BadSackingen, Germany) by group 1 in ratio 1.2 : 0 , group 2 in ratio 0.8 : 0.4 , group 3 in ratio 0.6 : 0.6 , group 4 in ratio 0.4 : 0.8 , group 5 in ratio 0 : 1.2 and group 6-10 were IPS Empress 2 (Vivadent , Schaan , Liechtenstein) with veneer porcelain IPS Eris (Vivadent , Schaan , Liechtenstein) by group 6 in ratio 1.2 : 0 , group 7 in ratio 0.8 : 0.4 , group 8 in ratio 0.6 : 0.6 , group 9 in ratio 0.4 : 0.8 , group 10 in ratio 0 : 1.2. All samples were subjected to BFS testing following ISO 6872: 1995. All tests were carried out on the Instron 5583 (Instron, Canton, MA, USA) with crosshead speed of 1.0 mm/ min. The means \pm SD of each groups were 433.06 ± 68.37 MPa for Group 1, 338.90 ± 22.56 MPa for Group 2, 294.43 ± 15.19 MPa for Group 3, 259.94 ± 14.53 MPa for Group 4, 56.59 ± 10.54 MPa for Group 5, 288.31 ± 44.64 MPa for Group 6, 246.34 ± 28.16 MPa for Group 7, 258.63 ± 27.87 MPa for Group 8, 226.59 ± 26.37 MPa for Group 9, and 68.56 ± 5.52 MPa for Group 10. ANOVA and Tamhane's Test revealed that the BFS of In- ceram alone was significantly higher than In-Ceram combined with veneer porcelain as well as decreasing of strength when the thickness of core was decreased respectively ($p < 0.05$). For IPS Empress 2, the BFS of IPS Empress 2 alone was not significantly different from IPS Empress 2 combined with veneer porcelain with any core:veneer ratio ($p < 0.05$). It was concluded that core and veneer thickness ratio affect the BFS of In-Ceram but not for IPS Empress 2.

Department of Prosthodontic Dentistry

Fiedld of study Prosthodontic Dentistry

Academic year 2004

Student's signature.....

Advisor's signature.....

Coadvisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร. ปราวรภ ชาติมี และ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดร. แมนสรอง อักษรนุกิจ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย ตลอดจนกรุณาตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการทุกท่าน ที่กรุณาให้คำแนะนำที่เป็นต่องานวิจัย และแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาทางสถิติ อาจารย์ ไพพรรณ วิทยานนท์ ที่ช่วยให้ความรู้ทางด้านสถิติ รวมทั้งคำแนะนำต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณบริษัทเดนทัลวิชั่น ที่เอื้อเฟื้อ Ingot IPS Empress 2 และวีเนียร์ IPS Eris

ขอขอบพระคุณแลปบุญชู อารียา ที่ทำการขึ้นรูปเซรามิกทั้งหมดของงานวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในศูนย์ทันตวัสดุทุกท่านที่เอื้ออำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย

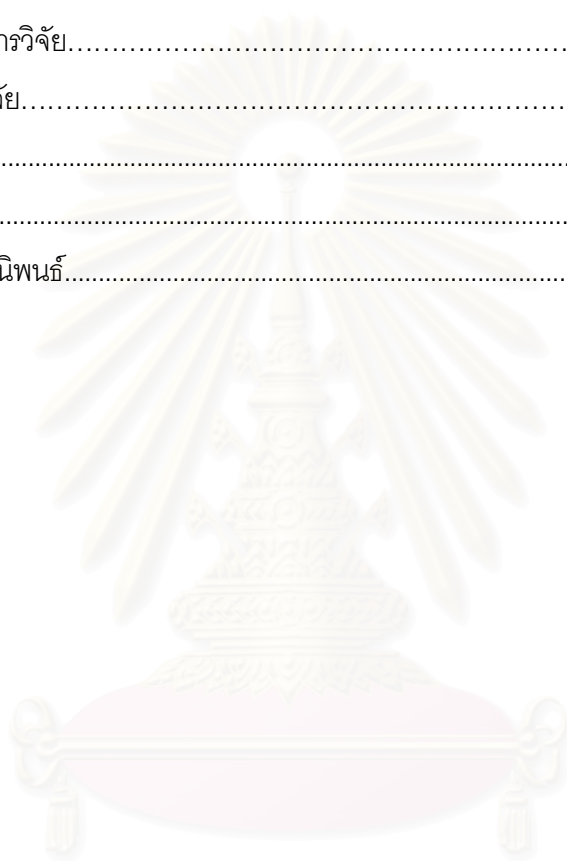
สุดท้ายผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัย และขอกราบขอบพระคุณผู้มีพระคุณทั้งหมดที่ไม่สามารถกล่าวนามในที่นี้ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อจำกัดของการทดลอง.....	3
คำสำคัญของเรื่องที่ทำกรวิจัย.....	3
สมมติฐานของงานวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
การออกแบบการวิจัย.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
อินซีแรม.....	10
ไอพีเอสเอ็มเพรส	12
ไอพีเอสเอ็มเพรส 2	13
การศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงของเซรามิกด้วยการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน	15
3. วิธีการดำเนินการวิจัย	19
วัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	19
วิธีการทดลอง.....	19
วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง.....	20
การคัดเลือกชิ้นตัวอย่าง	23
การเก็บชิ้นตัวอย่าง.....	23

การทดสอบ Biaxial flexural strength test	26
4. ผลการทดลอง	29
5. สรุปผลการวิจัยอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	41
วิจารณ์วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	41
อภิปรายผลการวิจัย.....	42
สรุปผลการวิจัย.....	45
รายการอ้างอิง	46
ภาคผนวก.....	51
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	67



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
ตารางที่ 1	แสดง Physical and material properties of IPS Empress 2 Layering material.....	14
ตารางที่ 2	แสดงการแบ่งกลุ่มของชิ้นตัวอย่าง.....	21
ตารางที่ 3	ข้อมูลดิบของค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเซรามิก 2 ชนิด.....	29
ตารางที่ 4	แสดงอัตราการแตกของชิ้นตัวอย่างทั้ง 10 กลุ่ม	35



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
ภาพที่ 1	แสดงชิ้นตัวอย่างที่ใช้วัดความแข็งแรงดัดขวางสองแกน20
ภาพที่ 2	แผ่นเหล็กสำหรับทำเป็นแบบ.....23
ภาพที่ 3	แสดงการแทรกซึมด้วยแลนทาแลมอะลูมิเนียมซิลิเกตกลาส.....24
ภาพที่ 4	แบบที่กลึงที่มีความลึกของแบบเท่ากับความหนาที่ต้องการ.....24
ภาพที่ 5	แสดงเครื่องวัด digital micrometer24
ภาพที่ 6	แสดงชิ้นตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ว25
ภาพที่ 7	การทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก25
ภาพที่ 8	แสดงการทดสอบ Biaxial flexural strength test โดยใช้วิธี piston on three ball test.....26
ภาพที่ 9	แสดง Scanning Electron Microscope (JSM 5410LV, JEOL, Ltd , Tokyo, Japan).....28
ภาพที่ 10	แสดงแผนภูมิที่เรียงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเฉพาะกลุ่มของอินซีแรม เมื่อวิเคราะห์ one- way ANOVA30
ภาพที่ 11	แสดงแผนภูมิที่เรียงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเฉพาะกลุ่มของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 เมื่อวิเคราะห์ one- way ANOVA.....31
ภาพที่ 12	แสดงกราฟการตรวจสอบว่าทั้งชนิดของเซรามิกและอัตราส่วนคอร์ตอวีเนียร์มี ผลร่วมกันต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกน32
ภาพที่ 13	แสดงกราฟที่เรียงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเมื่อเรียงจากมากไปน้อยของ 10 กลุ่ม เมื่อวิเคราะห์ two-way ANOVA.....33
ภาพที่ 14	แสดงการแบ่งกลุ่มหลังการทดสอบด้วย Independent T-test34
ภาพที่ 15	แสดงลักษณะการแตก.....35
ภาพที่ 16	แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นอินซีแรมคอร์ทังซัน เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า.....36
ภาพที่ 17	แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์ vitadur alpha ทังซัน เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า.....37
ภาพที่ 18	แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 6 ซึ่งเป็นไอพีเอสเอ็มเพรส 2 คอร์ทังซัน เมื่อดูด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า37
ภาพที่ 19	แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 10 ซึ่งเป็นวีเนียร์ IPS Eris เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 150 เท่า.....38

ภาพประกอบ

หน้า

ภาพที่ 20	แสดงลักษณะการแตกของชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มอินซีแรมคอร์ทหนา 0.8 มม. ร่วมกับวีเนียร์ vitadur alpha หนา 0.4 มม. เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 350 เท่า.....38
ภาพที่ 21	แสดงลักษณะการแตกของชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 7 ซึ่งเป็นกลุ่มไอพีเอสเอ็มเพรส 2 หนา 0.8 มม. ร่วมกับวีเนียร์ IPS Eris หนา 0.4 มม. เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 350 เท่า.....39
ภาพที่ 22	แสดงลักษณะการแตกของชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 8 ซึ่งเป็นกลุ่มไอพีเอสเอ็มเพรส 2 หนา 0.6 มม. ร่วมกับวีเนียร์ IPS Eris หนา 0.6 มม. เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 350 เท่า.....39
ภาพที่ 23	แสดงลักษณะการแตกของชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 9 ซึ่งเป็นกลุ่มไอพีเอสเอ็มเพรส 2 หนา 0.4 มม. ร่วมกับวีเนียร์ IPS Eris หนา 0.8 มม. เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 150 เท่า.....40



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในทางทันตกรรม การใช้เซรามิกร่วมกับโลหะ (metal-ceramic restoration) เป็นที่นิยมในการทำครอบฟันและสะพานฟัน เนื่องจากการใช้เซรามิกซึ่งมีความสวยงามใกล้เคียงกับฟันไม่มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะใช้ด้านทานแรงบดเคี้ยว (Wagner, 1996) จึงได้มีการนำโลหะมาใช้เป็นโครงสร้างภายในเพื่อให้เกิดความแข็งแรงและนำวีเนียร์พอร์ซเลน (veneer porcelain) มาพอกทับ แต่เนื่องจากโลหะทำให้ครอบฟันที่ได้มีความทึบแสง ความสวยงามจึงยังไม่ใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ดังนั้นจึงยังมีความพยายามพัฒนาเซรามิกให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจนสามารถนำมาทำครอบฟันหรือสะพานฟันได้โดยปราศจากโครงโลหะร่วมที่เรียกว่า วัสดุอลเซรามิก (all-ceramic material) และสามารถนำมาใช้ในทางคลินิกโดยมีผลประสบความสำเร็จที่ดีในระดับหนึ่ง ปัจจุบันอลเซรามิกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฟันที่ต้องการความสวยงาม เช่น ฟันหน้า เนื่องจากมีคุณสมบัติทางแสง เช่น การดูดซับ การกระจาย และการส่องผ่านของแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติมากกว่าการใช้เซรามิกร่วมกับโลหะ (Myer, 1994; Holloway, 1997) นอกจากนี้ ออลเซรามิกยังมีคุณสมบัติการเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อที่ดี (biocompatibility) และยังช่วยขจัดปัญหาเกี่ยวกับการแพ้โลหะในผู้ป่วยบางราย (Anusavice, 1991; Wen, 1999)

อลเซรามิกที่ใช้ในทางทันตกรรมมีหลายชนิด ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดโครงสร้างทางเคมีของวัสดุ ขบวนการขึ้นรูป ฯลฯ ออลเซรามิกที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 (IPS Empress 2 ; Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) อินซีแรม (In-Ceram ; Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) โพรเซรา ออลซีแรม (Procera Allceram ; Procera Sandvik AB, Stockholm, Sweden) วัสดุที่ได้รับความนิยมและหาใช้ได้ในประเทศไทย ได้แก่ อินซีแรม ซึ่งเป็นอะลูมินัสพอร์ซเลน (aluminous porcelain) ที่เสริมสร้างความแข็งแรงโดยการแทรกซึมด้วยแก้ว (glass-infiltrated aluminous porcelain) สามารถนำมาทำเป็นครอบฟัน อินเลย์ (inlay) ออนเลย์ (onlay) และสะพานฟันได้ และไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ซึ่งเป็นพอร์ซเลนที่เสริมสร้างความแข็งแรงด้วยการใช้ผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate glass) ซึ่งมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะทำครอบฟันหรือขึ้นบูรณะในซี่เดี่ยวทุกตำแหน่งในปาก และสะพานฟัน 3 ซี่ ในตำแหน่งฟันหน้าจนถึงฟันกรามน้อยซี่สองได้

ในแง่ของความสำเร็จในการใช้ออลเซรามิกในทางคลินิก พบว่า อินซีแรมมีอัตราการอยู่รอด (survival rate) ร้อยละ 98.4 จากการใช้งานในช่วง 24 – 44 เดือน (เฉลี่ย 37.6 เดือน) โดยพบว่ามีการแตกของวัสดุวีเนียร์ของชั้นวัสดุบูรณะ (Scotti, 1995) ส่วนไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีอัตราการอยู่รอด ร้อยละ 93.3 จากการใช้งาน 2 – 15 เดือน (เฉลี่ย 10 เดือน) และพบการแตกของวัสดุวีเนียร์เช่นเดียวกัน (Sorensen, 1999) ความล้มเหลวสามารถเกิดขึ้นได้จากการแตกภายในของชั้นวีเนียร์ หรือ เกิดการแตกระหว่างชั้นวีเนียร์กับชั้นแกนหรือคอร์ (core) สาเหตุของการแตกอาจเกิดได้จากคุณสมบัติการเข้ากันได้ของวัสดุ (compatibility) ที่ไม่ดีพอของชั้นคอร์กับวีเนียร์เช่นค่าสัมประสิทธิ์การขยายเมื่อร้อน (co-efficient of thermal expansion) ความแข็งแรงของวัสดุออลเซรามิกของชั้นคอร์กับวีเนียร์ แต่ละชนิดแตกต่างกัน ความสามารถในการยึด (bond) กับฟัน และอัตราส่วนของชั้นคอร์ต่อชั้นวีเนียร์ที่ต่างกันในแต่ละบริเวณ

ในการกรอฟันเพื่อทำครอบฟันหรือสะพานฟันด้วยวัสดุออลเซรามิก มีข้อจำกัดที่ต้องกรอฟันออกในแนวแกนฟันโดยรอบประมาณ 1.0 - 1.2 มิลลิเมตร เพื่อความแข็งแรงของชั้นครอบฟันและต้องคำนึงถึงโพรงประสาทฟันที่อยู่ภายในด้วย ในปริมาณความหนาที่จำกัดในการสร้างครอบฟันหรือสะพานฟันนี้ จะต้องมีทั้งส่วนของอินซีแรม หรือ ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่เป็นคอร์ (คล้ายกับโครงโลหะ) และชั้นของวีเนียร์พอร์ซเลนด้วย ทางบริษัทผู้ผลิตได้กำหนดความหนาอย่างต่ำของชั้นคอร์ของอินซีแรมนั้นชั้นคอร์ต้องหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร ส่วนไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ต้องไม่น้อยกว่า 0.8 มิลลิเมตร เพื่อความแข็งแรงของวัสดุบูรณะทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงของชั้นเซรามิกโดยรวมจะขึ้นอยู่กับความหนาของส่วนคอร์หรือไม่นั้นยังไม่เป็นที่ปรากฏชัดเจน นอกจากนี้ในการกรอฟันเพื่อเตรียมครอบฟันนั้นบางบริเวณอาจมีความหนาโดยรวมที่มากหรือน้อยกว่าที่กำหนด ดังนั้น การสร้างให้ส่วนคอร์ให้มีความหนา และมีส่วนของวีเนียร์พอร์ซเลนน้อย ก็น่าจะมีแข็งแรงดีแต่อาจขาดความสวยงาม และหากมีส่วนวีเนียร์พอร์ซเลนมากก็น่าจะมีความสวยงามแต่ความแข็งแรงอาจต่ำลง

ดังนั้น ในการวิจัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาถึงอัตราส่วนความหนาของคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนที่เหมาะสมที่จะให้ความแข็งแรงและความสวยงามที่ดีแก่ครอบฟันและสะพานฟันออลเซรามิกชนิดอินซีแรม และไอพีเอสเอ็มเพรส 2 โดยใช้วิธีการวัดความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (biaxial flexural strength) ในชิ้นตัวอย่างที่มีความหนาของส่วนคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ซึ่งการศึกษานี้ น่าจะช่วยให้การตัดสินใจของทันตแพทย์ในการเลือกใช้ครอบฟันและลดอัตราการเสี่ยงต่อความล้มเหลวในการทำครอบฟันชนิดออลเซรามิก

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรม และ ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ในภาวะโครงสร้างชั้นต่างๆกัน
2. นำข้อสรุปมาใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกความหนาของเซรามิกคอร์และวีเนียร์พอร์ซเลนที่เหมาะสมในการบูรณะฟันวัสดุเซรามิกในทางคลินิก
3. ใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาวิจัยทางด้านเซรามิกต่อไป

ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยใช้วัสดุบูรณะฟัน อินซีแรม และ ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 เพื่อเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในภาวะโครงสร้างชั้นต่าง ๆ กัน และอ้างอิงผลการทดลองเพื่อบอกแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในทางคลินิก การวิจัยจะทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนอาจจะมีผลแปรปรวนจากสาเหตุต่าง ๆ โดยเฉพาะความแตกต่างกันของชิ้นงานทดสอบเป็นผลให้ผลการวิจัยคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง ตลอดจนการทำงานจะทำโดยผู้ทำการทดลองเพียงคนเดียว และใช้อุปกรณ์เดียวกันต่อเนื่องการวิจัย

ข้อจำกัดของการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ จึงไม่สามารถควบคุมบางปัจจัยให้เหมือนในช่องปากได้จริง เช่น อุณหภูมิ ความชื้น

คำสำคัญของเรื่องที่ทำการวิจัย

- All ceramic= วัสดุอลเซรามิก
- Biaxial flexural strength=ความแข็งแรงดัดขวางสองแกน
- Veneer porcelain = วีเนียร์พอร์ซเลน
- Core : veneer ratio = อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์

สมมติฐานของงานวิจัย

$H_{0/1}$ = อัตราส่วนของชั้นคอร์ต้อชั้นวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของอินซีแรมมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกัน

$H_{a/1}$ = อัตราส่วนของชั้นคอร์ต้อวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของอินซีแรมค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกัน

$H_{0/2}$ = อัตราส่วนของชั้นคอร์ต้อชั้นวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกัน

$H_{a/2}$ = อัตราส่วนของชั้นคอร์ต้อชั้นวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกัน

$H_{0/3}$ = อัตราส่วนของชั้นคอร์ต้อวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของอินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกัน

$H_{a/3}$ = อัตราส่วนของชั้นคอร์ต้อวีเนียร์แบบต่าง ๆ ของอินซีแรมและ ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. เพื่อลดความเสี่ยง, ความล้มเหลวในการใช้วัสดุบูรณะครอบฟันเซรามิกสำหรับบูรณะฟัน
2. เป็นข้อมูลในการศึกษาวิจัยในอนาคต เพื่อพัฒนาวัสดุบูรณะทางทันตกรรมให้ดียิ่งขึ้น

การออกแบบการวิจัย

การวิจัยเชิงทดลอง (experimental research)

สำนักทันตวิทยาบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เซรามิกทางทันตกรรม (dental ceramics) เป็นวัสดุบูรณะที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูงมาเป็นเวลานาน เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ มีความสวยงามสามารถทำให้มีสีใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ทั้งในด้านความโปร่งแสง ความเข้มอ่อนของสี การดูดซับและการกระจายของแสง ความสวยงามที่ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป มีความต้านทานต่อสารเคมีและความร้อน มีความแข็งแรงทนทานต่อแรงในช่องปากได้ดีพอสมควร เข้ากันได้ทางชีวภาพกับเนื้อเยื่อในช่องปากได้เป็นอย่างดี นำความร้อนและกระแสไฟฟ้าที่ต่ำมากซึ่งแตกต่างจากโลหะ ทำให้ลดโอกาสการเกิดการนำกระแสไฟฟ้าและมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ

เซรามิกถูกใช้ครั้งแรกในทางทันตกรรมในปลายปีคริสต์ศตวรรษ 1700 ต่อมาในปี ค.ศ.1903 ได้มีการทำ ครอปฟันเซรามิก (porcelain jacket crown) โดย Land ซึ่งทำจากเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน (feldspathic porcelain) ซึ่งมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ได้แก่ ควอทซ์ หรือ ซิลิกา เกาลิน และ เฟลด์สปาร์ พอร์ซเลนที่ใช้ในทางทันตกรรมมีองค์ประกอบที่แตกต่างจากที่ใช้ทำเครื่องครัวและเครื่องสุขภัณฑ์ โดยเพิ่มส่วนของเฟลด์สปาร์ที่สูงถึงร้อยละ 65 การที่พอร์ซเลนมีการนำความร้อนต่ำ เมื่อนำพอร์ซเลนออกจากเตาเผาและตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง บริเวณพื้นผิวจะเย็นลงเร็วกว่าบริเวณที่อยู่ภายในและหดตัวลงมากกว่า ทำให้เกิดแรงอัด (compressive load) ที่บริเวณผิวด้านใน และเกิดความเค้นตึงค้าง (residual tensile stress) ที่ผิวด้านใน ถ้าหากมีความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงมิติที่มากพอจะทำให้ผิวด้านในที่อยู่ภายใต้แรงดึง (tension) ขาดออกจากกันเพื่อลดความเค้นลง ดังนั้นบริเวณพื้นผิวภายในก็จะเกิดรอยแตกเล็ก ๆ (microcracks) หรือที่เรียกว่า Griffith's flaws กระจัดกระจายอยู่มากมาย เมื่อมีแรงดึงเกิดขึ้นจะเกิดการสะสมความเค้นที่บริเวณส่วนปลายของรอยแตกเล็ก ๆ นี้ และมีการแพร่ขยายของรอยแตกเหล่านี้จนนำไปสู่การแตกหักของพอร์ซเลนได้ (Van Noort, 1994) จะเห็นได้ว่าพอร์ซเลนมีข้อด้อยที่สำคัญคือ เปราะ และเมื่อได้รับแรงดึงจะแตกหักได้ง่าย ดังนั้นการจะนำพอร์ซเลนมาใช้ในทันตกรรมเพื่อให้ทนทานต่อแรงบดเคี้ยวจึงจำเป็นต้องเสริมความแข็งแรงให้แก่พอร์ซเลนด้วยวิธีต่าง ๆ แต่ที่เป็นผลสำเร็จมากที่สุด ได้แก่ การนำพอร์ซเลนมาใช้ร่วมกับโลหะ แต่เนื่องจากมีปัญหาในเรื่องของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระหว่างโลหะและพอร์ซเลนที่มีความแตกต่างกันอย่างมาก โดยที่โลหะ

และพอร์ซเลนจะหดตัวแตกต่างกันเมื่อเย็นตัวลงทำให้เกิดการแตกของพอร์ซเลนได้ง่าย ดังนั้นในปี ค.ศ.1962 Weinstein และคณะ ได้นำพอร์ซเลนมาเคลือบบนโลหะเป็นครอบฟันพอร์ซเลนเคลือบโลหะ (ceramo-metal crown) โดยปรับปรุงคุณสมบัติของพอร์ซเลน โดยการเพิ่มโปตัสเซียมออกไซด์ (K_2O) ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการเผาจะเกิดการก่อตัวของผลึกยูไรท์หรือโปตัสเซียมอะลูมิเนียมซิลิเกต ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของพอร์ซเลนเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกับโลหะจึงสามารถเคลือบพอร์ซเลนบนโลหะได้เป็นผลสำเร็จ (Binns, 1983)

พอร์ซเลนที่ใช้เคลือบโลหะคือเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนซึ่งมีองค์ประกอบหลักของซิลิกา (SiO_2) ร้อยละ 64 นอกจากนี้มีอะลูมินา (Al_2O_3) ร้อยละ 18 โพแทช (K_2O) และโซดา (Na_2O) ร้อยละ 8-10 เพื่อควบคุมการขยายตัว ซึ่งเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนนี้มีค่ากำลังดัดขวางต่ำประมาณ 60-70 MPa (Giordano, 1996) ครอบฟันโลหะเคลือบพอร์ซเลนมีข้อด้อยที่สำคัญคือ โครงโลหะภายในจะลดการส่องผ่านของแสงทำให้ฟันแลดูไม่เป็นธรรมชาติ อีกทั้งทำให้ขอบเหงือกดำจากการถูกกัดกร่อนของโลหะและผู้ป่วยบางรายมีอาการแพ้โลหะ (Rosenblum และ Schulman, 1997) ดังนั้นจึงมีความพยายามในการทำครอบฟันพอร์ซเลนที่ปราศจากโลหะ แต่เนื่องจากเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนนั้นไม่แข็งแรงเพียงพอที่จะทำครอบฟันพอร์ซเลนได้ โดยเฉพาะในตำแหน่งที่มีแรงจากการบดเคี้ยวมาก จึงได้มีการพัฒนาพอร์ซเลนให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

ปีค.ศ. 1965 McLean และ Hughes ได้พัฒนาอะลูมินัสพอร์ซเลนจากเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน โดยแทนที่ควอทซ์ด้วยอะลูมินา ร้อยละ 40-50 โดยน้ำหนัก เพื่อใช้เป็นแกนภายในครอบฟันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของพอร์ซเลนเป็นครอบฟันอะลูมินัสพอร์ซเลน ซึ่งมีความสวยงามโดยไม่ต้องมีโครงโลหะภายใน และอะลูมินัสพอร์ซเลนมีค่ากำลังดัดขวางเพิ่มขึ้นถึง 100-130 MPa (Giordano, 1996) โดยอะลูมินาหรืออะลูมิเนียมออกไซด์ที่ใช้งานทางทันตกรรมเป็นอะลูมินาในรูปของผงละเอียดขนาด 10-20 ไมครอนร่วมกับแก้วแมทริกซ์ (glass matrix) ซึ่งอะลูมินานี้ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวหยุดรอยแตก (crack stopper) อะลูมินาและแก้วแมทริกซ์มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนต่างกันเล็กน้อยทำให้เมื่อพอร์ซเลนเย็นตัวลงเกิดเป็นแรงเค้นอัดรอบ ๆ อะลูมินาซึ่งแรงเค้นอัดนี้เองที่สามารถช่วยหยุดการแพร่ของรอยแตกได้ (McLean และ Hughes, 1965) ครอบฟันอะลูมินัสพอร์ซเลนประกอบด้วยสามส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนแกนอะลูมินาที่มีความแข็งแรงสูง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนประมาณ $7.95 \times 10^{-6} K^{-1}$ ค่าความแข็งแรงตามขวางประมาณ 130-150 MPa ส่วนที่สองและสามคือวิเนียร์พอร์ซเลนชั้นเคลือบฟันและชั้นเนื้อฟันซึ่งทำจากแก้วบอโรซิลิเกต (borosilicate) ที่มีอะลูมินาร้อยละ 5-10 เป็นส่วนที่ให้สีและความโปร่งแสงแก่ตัวครอบฟันพอร์ซเลน ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนประมาณ $7.5 \times 10^{-6} K^{-1}$ ดังนั้นเมื่อมีการ

เย็นตัวลงส่วนพอร์ซเลนเคลือบฟันจะอยู่ภายใต้แรงเค้นอัดและสามารถต้านทานต่อรอยแตกทำให้ครอบฟันพอร์ซเลนมีความแข็งแรงขึ้น อย่างไรก็ตามครอบฟันชนิดนี้ยังมีความแข็งแรงไม่เพียงพอและเกิดการแตกร้าวได้ง่ายเมื่อนำไปใช้งานในคลินิก อีกทั้งอะลูมินัสปอร์ซเลนมีการหดตัวขณะขึ้นตอชบวนการเผาทำให้ความแนบของครอบฟันต่ำกว่าครอบฟันพอร์ซเลนเคลือบโลหะ (Rosenblum, 1997)

ปัจจุบันนี้วัสดุออกเซรามิกชนิดใหม่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยมีผลความสำเร็จทางคลินิกที่สูงขึ้นด้วยเหตุผลใหญ่ ๆ 3 ประการคือ วัสดุที่ได้รับการพัฒนาให้มีความแข็งแรงขึ้น มีวิธีการขึ้นรูปที่ดีขึ้น และการพัฒนาทางด้านการยึดติดโดยสามารถใช้กรดกัด (acid etch) บนผิวเซรามิกและเคลือบฟันหรือเนื้อฟัน และยึดเข้ากันได้ด้วย dentin adhesive ชนิดใหม่ ๆ

ปัจจุบันวัสดุออกเซรามิกได้มีการพัฒนาขึ้นจากหลายบริษัทผู้ผลิตด้วยเทคนิคต่าง ๆ กัน Rosenblum และ Schulman (1997) ได้ทำการจำแนกชนิดตามวิธีการขึ้นรูปของออกเซรามิกไว้ ได้แก่

1. เซรามิกชนิดสลิวินิยม (Conventional powder slurry ceramic)

โดยเติมน้ำลงในผงเซรามิก โดยการขึ้นรูปเป็นชั้นของเนื้อฟัน เคลือบฟันแบบหล่อ ผงจะมีหลายสีและระดับความหลายความโปร่งแสง ตัวอย่างของเซรามิกเหล่านี้ได้แก่

1.1 Optec HSP (Jeneric Pentron, Wallingford, Conn)

มีความแข็งแรงมากกว่าเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนแบบดั้งเดิม (conventional feldspathic porcelain) เพราะมีการเพิ่มปริมาณลูไซต์และกระจายผลึกในแมทริกซ์แก้ว โดยการควบคุมกระบวนการทำให้เกิดผลึก ในขณะที่กระบวนการผลิตลูไซต์และส่วนที่เป็นแมทริกซ์แก้วจะเชื่อมเข้าด้วยกันขณะกระบวนการเผาที่ 1020°C (Anusavice, 1993) Optec HSP มีความแข็งแรงเพียงพอจึงไม่ต้องการส่วนคอร์เมื่อใช้สร้างครอบฟัน การสร้างรูปร่างของครอบฟันใช้เทคนิคการผสมผงลงในน้ำ (powder – slurry technique) แล้วป้ายลงบนวัสดุหล่อแบบ ครอบฟันที่ได้มีความแนบสนิทดี ค่าความแข็งแรงตามขวางมีค่าประมาณ 146 MPa

1.2 Duceram LFC

เป็น hydrothermal low – fusing ceramic ประกอบด้วย ลักษณะโครงสร้างไม่เป็นผลึก (amorphous glass) ที่มีไฮดรอกซิลอิออน (hydroxyl ions) Duceram LFC มีความหนาแน่นมากกว่า มีความแข็งแรงดัดขวางสูงกว่า มีความต้านทานต่อการแตกหัก (fracture resistance) สูงกว่า และมีความแข็งผิว (hardness) ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเฟลด์สปาร์ติก

พอร์ซเลน ทำให้ฟันคู่สบสึกน้อยกว่าระบบที่มีลูไซต์ ความแข็งแรงดัดขวางสูงขึ้นเพราะมีการแลกเปลี่ยน ไฮดรอกซิลอิออน Duceram LFC ใช้ทำ อินเลย์ วีเนียร์ ครอบฟัน

อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาทางคลินิกที่บอกว่า วัสดุนี้ทำให้ฟันธรรมชาติสึกน้อยกว่า เฟลด์สปาทิกพอร์ซเลน มีค่าความแข็งแรงดัดขวางประมาณ 110 MPa

2. เซรามิกชนิดเหวี่ยง (castable ceramic systems)

Dicor เป็น castable glass ceramic ถูกค้นพบโดย David Grossman ที่ Corning Glass Work ในปี 1972 Dicor ประกอบด้วย SiO_2 , K_2O , magnesium oxide และ Al_2O_3 และ ZrO_2 ในปริมาณเล็กน้อย ผลิตภัณฑ์ของ Dicor ประกอบด้วย tetrasilicic fluoromica ($\text{K}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}\text{F}_4$) ซึ่งมีผลช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกหัก (fracture resistance) สามารถขึ้นรูปโดยใช้วิธี lost wax ซึ่ง วิธีนี้ทำให้ได้ความเนบสนิทที่ดี การขึ้นรูปจะทำในเครื่องเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal casting machine) ชนิดพิเศษ ที่อุณหภูมิ 1300°C ในแบบหล่อที่ทำจากอินเวสต์เมนต์ชนิด ฟอสเฟตบอนด์ (phosphate bonded investment) การเผาขึ้นรูปจะทำหลายครั้ง โดยครั้งสุดท้ายที่อุณหภูมิ 900°C (Giordano, 1996) หลังจากนั้นจึงงานถูกทำการเผาที่อุณหภูมิ 1075°C เป็นเวลา 10 ชั่วโมง เพื่อให้บางส่วนของ tetrasilicic mica มีลักษณะคล้ายผลึกแก้ว ซึ่งจะทำให้เซรามิกแข็งแรงมากขึ้น Dicor มีความโปร่งแสงมากที่สุดในเมื่อเทียบกับเซรามิกในระบบอื่น อย่างไรก็ตาม สีอาจจะต้องเคลือบหลาย ๆ ชั้นด้วยการเคลือบผิว (glaze) หรือ Dicor ต้องทำการเคลือบด้วยวีเนียร์พอร์ซเลน

3. เซรามิกชนิดใช้เครื่องมือกลึงตัด (Ceramic Machining systems)

3.1 Cerec (Siemens, Bensheim, Germany)

เป็นการใช้ CAD – CAM (computer-assisted designs and computer assisted manufacturer) ได้ถูกพัฒนาในปี 1970 โดย Francois Duret ในประเทศฝรั่งเศส ร่วมกับ Bruce Altschuler ในสหรัฐอเมริกา และ Mormann และ Brandestini ใน สวิตเซอร์แลนด์ ระบบนี้หลังจากทันตแพทย์กรอฟันแล้วใช้ผงที่ทำมาพิเศษพ่นลงบนตัวฟันเพื่อแยกฟันส่วนที่กรอและไม่กรอ แต่ง จากนั้นใช้ตัววัดออปติคคอลลีพร (optical probe) ทำหน้าที่คล้ายกับกล้องถ่ายภาพคอมพิวเตอร์ ถ่ายภาพฟันที่กรอเรียบร้อยแล้วมาปรากฏบนจอคอมพิวเตอร์ แล้วจึงสร้างแบบขึ้นงานบนคอมพิวเตอร์ เมื่อออกแบบเสร็จแล้วจึงนำแท่งเซรามิกสำเร็จรูปมาใส่ในเครื่องกลึง เครื่องจะรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์กลึงตามรูปร่างที่ได้ออกแบบไว้ แท่งเซรามิกสำเร็จรูปที่ใช้ได้แก่

Cerec Vitablocs Mark I (Vident Inc) มีเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนเป็นส่วนประกอบ มีคุณสมบัติด้านความแข็งแรงและการสึกค้ำยกับเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลนที่ใช้ในงานครอบฟันเคลือบโลหะ Cerec I มักต้องทำการกรอและขัดเพื่อให้ได้ด้านบดเคี้ยวที่มีรูปร่างที่เหมาะสมในช่องปาก ค่าความแข็งแรงดัดขวางมีค่าประมาณ 93 MPa

Cerec Vitablocs Mark II เป็นเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน ที่มีความแข็งแรง และมีขนาดของ grain ที่ละเอียดกว่า Cerec I ใช้ทำอินเลย์ ออนเลย์ ครอบฟัน วีเนียร์ ค่าความแข็งแรงดัดขวางมีค่าประมาณ 152 MPa

Dicor MGC ประกอบด้วยผลึกแก้ว fluorosilicic mica ในแมทริกซ์แก้ว Dicor MGC มีความแข็งแรงดัดขวางสูงกว่า Dicor ที่ได้จากการเหวี่ยงขึ้นรูป มีความอ่อนกว่าเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน และมีผลทำให้ฟันธรรมชาติสึกน้อยกว่าการสบด้วย Cerec I และสึกมากกว่า การสบ Cerec II ค่าความแข็งแรงตามขวางมีค่าประมาณ 216 MPa

ข้อดีของระบบนี้คือไม่จำเป็นต้องส่งงานออกไปยังห้องปฏิบัติการ และสามารถทำงานเสร็จได้ในครั้งเดียว แต่เครื่องมือราคาแพงมาก ไม่ต้องใส่วัสดุบูรณะชั่วคราวให้คนไข้ และสามารถควบคุมคุณภาพของชิ้นงานเองได้ ลดปัญหาจากแลปที่ไม่ได้คุณภาพ

3.2 Celay (Mikrona Technologies, Spreitenbach, Switzerland)

ใช้ระบบ copy-milling ใช้กระสุนขี้ผึ้งหรือเรซินที่เรียกว่าโปรอินเลย์ (pro Inlay) ที่ได้จากแบบหล่อนำไปใส่ในเครื่องมือที่คล้ายกับเครื่องมือบีมกุญแจโดยข้างหนึ่งทำหน้าที่ลอกแบบต้นแบบ มีหัวที่ไม่มีคมลอกเลียนรายละเอียดจากแม่แบบสู่อีกข้างหนึ่งซึ่งเป็นหัวกรอ กรอแต่งเซรามิกที่ใส่ไว้ให้ได้รูปร่างตามแบบอีกข้างหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ cerec พบว่าเครื่องมือนี้มีราคาถูกกว่า แต่ข้อด้อยคือต้องมีการพิมพ์ปากการทำในห้องปฏิบัติการ และจำนวนครั้งในการนัดผู้ป่วยมากกว่า

3.3 โปรเซรา (Procera) (Nobel Biocare, Yorba Linda, CA)

มีการพัฒนาเซรามิกชนิดนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1986 และเสนอใช้ในปี ค.ศ. 1993 ประกอบด้วยอะลูมินา (densely sintered alumina) ที่มีความแข็งแรงสูง แล้วมีการเคลือบชั้นนอกด้วยวัสดุพอร์ซเลน โดยในการผลิตส่วนของคอร์ทำโดยหลังจากนำรอยพิมพ์ไปเทขึ้นหล่อฟันหลัก แล้วส่งข้อมูลขนาดของแบบไปยังคอมพิวเตอร์ของห้องปฏิบัติการโดยอาศัยส่วนอุปกรณ์ถ่ายทอดข้อมูล (modem) เมื่อได้รับข้อมูลเครื่อง CAD-CAM ที่ห้องปฏิบัติการการจะลงขึ้นหล่อย่อยฟันหลักที่มีขนาดใหญ่ขึ้นร้อยละ 12-20 เพื่อชดเชยกับการหดตัวของพอร์ซเลน แล้วฟันผงอะลูมินาออกไซด์ ไปยังขึ้นหล่อฟันหลักด้วยแรงอัดสูง (dry pressing technique) นำแกนที่ได้ไปกลึงและ

เผา ขั้นตอนสุดท้ายคือ การพอกทับด้วยพอร์ซเลนที่มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำ ข้อดีของโพรเซรา คือ มีการหดตัวขณะเผา น้อย ความแข็งแรงดัดขวางสูงกว่าอินซีแรม ข้อเสีย แกนโพรเซราไม่ได้ เป็นวัสดุทึบแสง ความสามารถในการปิดสีฟันก็ไม่สมบูรณ์เสียทีเดียวขึ้นกับสีของฟันหลักและความหนา ของพอร์ซเลน

4 เซรามิกชนิดแทรกซึม (Infiltrated ceramics)

เป็นอะลูมินัมพอร์ซเลนที่ได้มีการพัฒนาโดยเพิ่มปริมาณของอะลูมินาในส่วนแกนครอบฟัน ให้สูงขึ้นและแทรกซึมด้วยวัสดุที่เป็นแก้ว (glass matrix phase) เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของ ครอบฟันตัวอย่างของเซรามิกชนิดนี้ได้แก่อินซีแรม (In-Ceram)

อินซีแรม (In-Ceram)

ภายใต้เครื่องหมายการค้า ชื่อ อินซีแรม (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) ซึ่งพัฒนาขึ้นในปี 1982 โดย Michael Sadaun ที่เมืองปารีส ประเทศฝรั่งเศส โดยแนะนำให้ใช้เป็นแกน ของครอบฟันหรือสะพานฟันบริเวณฟันหน้า 3 ซี่ แทนการใช้โลหะ เซรามิกชนิดนี้มีการเรียกชื่อที่แตกต่างกัน ออกไปเช่น Infiltration ceramic หรือ glass infused ceramic หรือ glass infiltrated alumina ceramic นอกจากนี้ยังอาจเรียกตามเทคนิคการขึ้นรูปของวัสดุว่า slip casting alumina ceramic

อินซีแรมประกอบด้วยวัสดุ 2 ชนิดแทรกประสานกัน (interpenetrating phase material) โดยมีวัสดุที่เป็นผลึก (crystalline phase) โดยอะลูมินาจะถูกล้อมรอบและแทรกซึมด้วยวัสดุ ที่เป็นแก้ว (glass matrix phase) โครงสร้างลักษณะนี้ทำให้วัสดุมีคุณสมบัติเฉพาะตัวซึ่งรวมเอา คุณสมบัติเด่นของแต่ละวัสดุเข้าด้วยกัน อินซีแรมที่เผาแล้วมีปริมาณผลึกอะลูมินาร้อยละ 74 โดย ปริมาตรหรือร้อยละ 80-85 โดยน้ำหนัก และแมทริกซ์แก้วแลนทานัมร้อยละ 26 ในส่วนของผงขึ้นรูป อะลูมินาประกอบด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์เกือบทั้งหมดคือ ปริมาณร้อยละ 99.56 โดยน้ำหนัก มีขนาด ของผลึกตั้งแต่ 0.5 – 5 ไมครอน (เฉลี่ยประมาณ 3 –3.5 ไมครอน) สำหรับแมทริกซ์แก้วมีส่วนประกอบหลักคือแลนทานัมอะลูมิโนซิลิเกต (lanthanum aluminosilicate) ซึ่งเป็นสารประกอบระหว่าง lanthanum oxide 39% silicon dioxide 15% aluminum oxide 15% และ boron oxide 14% (Prober และคณะ, 1992)

การขึ้นรูปอินซีแรมทำโดยนำผงอะลูมินาละลายในน้ำที่ปราศจากอิออน (deionized water) และใส่สารทำให้กระจาย (dispersing agent) คือโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) (Giordano, 1996) เรียกวิธีนี้ว่า slip casting ซึ่งจะทาบนแม่แบบยิปซัม (gypsum die) ส่วนน้ำจะ

ถูกดูดเข้าสู่แม่แบบยิปซัม จึงเหลือเฉพาะอะลูมินาอัดแน่นอยู่บนแม่แบบ (Prober และคณะ, 1992) ส่วนนี้จะเป็นส่วนแกนของครอบฟัน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ในระหว่างกระบวนการเผาที่อุณหภูมิจะหลอมเข้าด้วยกันและเกิดการหดตัวร้อยละ 0.3 ซึ่งให้ความเสถียรภาพและต้านทานต่อการบิดเบี้ยวในระหว่างการเผาของพอร์ซเลนเคลือบในกระบวนการต่อไปได้ และกรณีที่แม่แบบมีการหดตัวจากส่วนแกนนี้ทำให้สามารถดึงส่วนแกนออกได้โดยไม่ต้องทำให้บริเวณครอบฟันเกิดความเสียหาย จากนั้นผสมแก้วเลนทามอะลูมินาโนซิลิเกตกับน้ำ ทาลบบนส่วนแกน จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1120 °C เป็นเวลา 3-5 ชั่วโมง ซึ่งส่วนแก้วจะหลอมตัวและแทรกซึม (infiltrate) เข้าไปในช่องว่างระหว่างอะลูมินา โดยกระบวนการแคปิลลารี (capillary action) ซึ่งช่วยความโปร่งแสงให้แก่อินซีแรม จากนั้นกำจัดแก้วส่วนเกินด้วยหัวกรอกากเพชรหรือผงอะลูมินาเม็ดออกไซด์ ขนาด 35 – 50 ไมครอน ความดัน 3 – 6 บาร์ (0.3 – 0.6 MPa และขั้นตอนสุดท้ายคือการตกแต่งรูปร่างของชิ้นงานด้วยวีเนียร์พอร์ซเลนชนิดอะลูมินาพอร์ซเลนชั้นเคลือบฟันและชั้นเนื้อฟันบนส่วนแกนให้ถูกต้องตามลักษณะกายวิภาค (Probster และ Dichl, 1992; Sorensen, Knode และ Torres, 1992; Giordano, 1996) อินซีแรมนั้นสามารถใช้ในการครอบฟันหน้าและฟันหลังรวมทั้งสะพานฟันหน้า ซึ่งมีรายงานค่ากำลังดัดขวางสูงสุดคือ 384.50 ± 40.01 MPa (Kanchanatawewat และคณะ, 1997) มีค่าแรงดึงที่สูงกว่าพอร์ซเลนชนิดอื่น 3 – 4 เท่า (Seghi และคณะ, 1990; Seghi และ Sorensen, 1995; Giordano และคณะ, 1995) มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายเมื่อร้อน 7.2×10^{-6} K⁻¹ นอกจากนี้มีอัตราอยู่รอดร้อยละ 98.4 จากการใช้งานในช่วง 24-44 เดือน (เฉลี่ย 37.6 เดือน) (Scotti, 1995)

อย่างไรก็ตาม อินซีแรมมีข้อด้อยที่สำคัญคือ ส่วนแกนมีความทึบแสงจากอะลูมินาทำให้ครอบฟันแลดูไม่เป็นธรรมชาติ จึงได้มีการพัฒนาส่วนแกนให้มีความโปร่งแสงขึ้น โดยใช้แมกนีเซียมอะลูมิเนต ($MgAl_2O_4$) เรียกว่า อินซีแรมสปินเนล (In-Ceram Spinell) แต่มีค่ากำลังดัดขวางนั้นไม่สูงเท่ากับอินซีแรม โดยมีค่าประมาณ 259.10 ± 31.49 MPa (Kanchanatawewat และคณะ, 1997) ต่อมาได้มีการพัฒนาอินซีแรมเซอร์โคเนีย (In-Ceram Zirconia) ซึ่งใช้เซอร์โคเนียออกไซด์ (ZrO_2) สร้างส่วนแกนภายใน พบว่ามีค่ากำลังดัดขวางสูงถึง 800 MPa แต่ก็มีค่าโปร่งแสงน้อยกว่าสองชนิดที่ผ่านมาโดยอินซีแรมเซอร์โคเนียนี้ใช้ในการสะพานฟันในฟันหลัง (Giordano, 1996)

วิตาดัวร์อัลฟา (vitadur alpha) เป็นวัสดุที่ใช้ทำเป็นวีเนียร์พอร์ซเลนของอินซีแรมในการตกแต่งรูปร่างของชิ้นงานในชั้นเคลือบฟันและชั้นเนื้อฟัน ส่วนประกอบของ vitadur alpha จะมีอะลูมินาออกไซด์ 10% มีความแข็งแรงดัดขวาง 110 MPa มีลักษณะเป็นอนุภาคละเอียด มีการดูด

แสง ความโปร่งแสงและการสะท้อนแสง คล้ายฟันธรรมชาติ ทนต่อการสะสมของคราบจุลินทรีย์ที่ทนต่อกรด มีการหดตัวน้อยขณะเผา มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน $6.2-6.7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ความแข็งผิว 470 HV_{10} ความหนาแน่น 2.3 g/cm^3 มีสีให้เลือกใช้ตรงกับ vita shade หรือ vitapan system

5. เซรามิกชนิดขึ้นรูปด้วยการกดอัด (Pressable ceramic)

เป็นเซรามิกที่ผ่านขบวนการเผาและอัดภายใต้ความร้อน (heat – pressing) ตัวอย่างเซรามิกชนิดนี้ได้แก่ IPS Empress และ IPS Empress 2

ไอพีเอสเอ็มเพรส (IPS – Empress)

ไอพีเอสเอ็มเพรส เป็นวัสดุเคลือบเซรามิกอีกระบบหนึ่งที่พัฒนาขึ้นในปี 1988 โดย Wohlwend และ Scharer แห่งมหาวิทยาลัยซูริค ร่วมกับบริษัท Ivoclar ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ (Dong และคณะ, 1992) ไอพีเอสเอ็มเพรสมีส่วนประกอบพื้นฐานของเฟลด์สปาร์ดีคทอปอร์ซเลนที่มีองค์ประกอบโดยน้ำหนักคือซิลิกอนไดออกไซด์ ร้อยละ 59.0 – 63.0 อะลูมิเนียมออกไซด์ร้อยละ 19.0 – 23.5 โบตัสเซียมออกไซด์ร้อยละ 10.0 – 14.0 ซึ่งส่วนประกอบพื้นฐานเหล่านี้จะถูกหลอมเข้าด้วยกัน จากนั้นให้ความร้อนเริ่มต้นการเกิดนิวเคลียสและการเกิดผลึกโดยกลไกการควบคุมการเกิดผลึกที่ผิว (controlled surface crystallization) ในกระบวนการนี้การเกิดนิวเคลียสจะเริ่มต้นที่ขอบนอกของผลึก จากนั้นทำให้เย็นลงแล้วบิดเป็นผง นำมาเติมสารฟลูออเรสเซนต์ (fluorescences) สารคงสภาพและแอดดีทีฟ (additives) แล้วอัดเป็นก้อนที่เรียกว่า อินกอต (ingot) หลังจากนั้นนำอินกอตมาเผาอีกครั้งในช่วงอุณหภูมิประมาณ 900-1,200 องศาเซลเซียส ในช่วงที่ให้ความร้อนนี้จะเกิดผลึกลูไซต์ในแก้วแมทริกซ์ ขนาดประมาณ 1-3 ไมครอน ซึ่งมีสูตรโมเลกุลคือ $\text{K}(\text{AlSi}_2\text{O}_6)$ หรือ $\text{K}_2\text{OAl}_2\text{O}_3\text{4SiO}_2$ ปริมาณร้อยละ 23.6 โดยมีอัตราส่วนของโปแตสเซียมต่ออะลูมิเนียมต่อซิลิกอน (K : Al : Si) เท่ากับ 1 : 1.02 : 2.07 : 0.06 (Denry, Rosenstiel and Holloway, 1994) ผลึกลูไซต์จะโตอย่างช้า ๆ ในช่วงที่ให้ความร้อนนี้ โดยผลึกลูไซต์สามารถเพิ่มความแข็งแรงให้เอ็มเพรส ด้วยกลไกสองประการคือ ประการแรก เกิดจากความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนระหว่างลูไซต์กับแก้วแมทริกซ์ โดยลูไซต์มีค่าเท่ากับ $20-25 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ในขณะที่แก้วแมทริกซ์มีค่าน้อยกว่า $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (Anusavice, 1996) ซึ่งการที่มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวที่แตกต่างกับแก้วแมทริกซ์ ทำให้ส่วนของลูไซต์เกิดความเค้นดึง และในส่วนของแก้วแมทริกซ์เกิดความเค้นอัด ความเค้นอัดที่เกิดขึ้นนี้สามารถต้านต่อแรงที่ทำให้เกิดการแตกทำได้ ประการที่สอง ในกระบวนการอัดด้วยความร้อน (heat press) ในห้องปฏิบัติการ จะทำให้ผลึกลูไซต์มีการเรียงตัวและการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในส่วนของแก้วแมทริกซ์ที่เป็น

เนื้อเดียวกัน มีผลด้านการแตกได้ (Dong และคณะ, 1992; Seghi and Sorensen, 1995; Mackert and Russell, 1996)

ในการทำวัสดุบูรณะฟันโดยใช้วัสดุในระบบของไอพีเอสเอมเพรส มีวิธีทำ 2 แบบ คือ เทคนิคระบายสี (staining technique) คือหลังจากได้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการอัดแล้ว นำชิ้นงานมาลงสีจนได้สีตามต้องการ โดยทำการเผาที่อุณหภูมิ 850°C จากนั้นทาสารเคลือบแล้วเผาที่อุณหภูมิ 870°C อีกครั้ง อีกวิธีหนึ่งคือเทคนิคทำเป็นชั้น (layering technique) เป็นวิธีที่ให้ความสวยงามเป็นลักษณะของชั้นเนื้อฟันและเคลือบฟันได้เหมือนฟันธรรมชาติ ซึ่งเมื่อได้ชิ้นงานที่เป็นแกนแล้ว นำมาตัดส่วนปลายฟันด้วยหัวกรอกากเพชรลึกระมาณ 0.8 มิลลิเมตร แล้วเติมพอร์ซเลนปลายฟันซึ่งเป็นเฟลด์สปาร์ติคพอร์ซเลน เพื่อให้มีความใสและสีตามต้องการ แล้วเผาที่อุณหภูมิ 890°C โดยเทคนิคการทำเป็นชั้นนี้ใช้ในงานที่ต้องการความสวยงามเช่น ครอบฟันซี่เดี่ยวในฟันหน้า ส่วนเทคนิคทาสีใช้ในงานอินเลย์ ออนเลย์ และวีเนียร์ ในปี 1992 Dong และคณะ ศึกษาผลการเผาตามเทคนิคระบายสีและการเผาตามเทคนิคทำเป็นชั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างกำลังดัดขวางอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม ไอพีเอสเอมเพรส มีค่าความแข็งแรงดัดขวาง $120\text{--}200\text{ MPa}$ ซึ่งมีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะสามารถใช้ทำสะพานฟันได้

ไอพีเอสเอมเพรส 2 ในปี 1999 Schweiger และคณะ ได้มีการคิดค้นพัฒนาวัสดุใหม่ที่มีชื่อว่า ไอพีเอสเอมเพรส 2 ซึ่ง ใช้วิธี lost-wax technique และ heat-pressed technique เหมือนกัน แต่มีโครงสร้างที่แตกต่างไปจากไอพีเอสเอมเพรสเดิม โดยใช้ผลึกลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate glass) ซึ่งเป็นผลึกที่มีความแข็งแรงกว่า โดยประกอบด้วยโครงสร้างของผลึกลิเทียมไดซิลิเกตมากกว่าร้อยละ 60 โดยที่ผลึกนี้แทรกอยู่ในโครงสร้างที่เป็นแมทริกซ์แก้ว ในขณะที่ขบวนการเผาและอัดภายใต้ความร้อน (heat - pressing) ทำให้มีความแข็งแรงดีกว่า ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตแพร่กระจายในโครงสร้างที่ประสานกันทำให้สามารถป้องกันการรุกรานของรอยแตก โดยขบวนการดูดซับพลังงาน (energy-absorbing) เช่น การหักเหของรอยแตก (crack deflection) และ การแตกแขนงของรอยแตก (branching) (Schweiger , Holand and Frank, 1999) ทำให้สามารถสร้างครอบฟันซี่เดี่ยวทุกตำแหน่งในปาก และ สะพานฟัน 3 ซี่ในตำแหน่งฟันหน้าจนถึงฟันกรามน้อยที่สองได้ ไอพีเอสเอมเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน $350 \pm 50\text{ MPa}$ ซึ่งสูงกว่าไอพีเอสเอมเพรสคือ 3 เท่า เพราะมีอัตราการเกิดผลึกสูงกว่า มีค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานก่อนการแตกหัก (fracture toughness) $3.2 \pm 0.3\text{ MPa}$ ซึ่งสูงกว่าไอพีเอสเอมเพรสเดิม มีความแข็งแรงเมื่อทดสอบกับชิ้นทดสอบสะพานฟัน 3 ซี่ (ultimate strength) ที่มี ส่วนเชื่อมโยง (connector) ขนาด 4×4 มิลลิเมตร โดยมีค่าแรงกด

(load) ขนาด 700 – 1000 นิวตัน ซึ่งสูงกว่าไอพีเอสเอมเพรส สัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของ ไอพีเอสเอมเพรส 2 ต่ำกว่า ผลจากการที่ผลึกลิเทียมไดซิลิเกตมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน ต่ำกว่าผลึกลูโซฟของไอพีเอสเอมเพรส และได้มีการพัฒนาวิเนียร์พอร์ซเลนขึ้นมาใหม่เหมาะสำหรับ ไอพีเอสเอมเพรส 2 เป็นชนิดฟลูออโรอะพาไทต์กลาสเซรามิก ซึ่งมีลักษณะผลึกคล้ายกับในฟันธรรมชาติ และทำให้คุณสมบัติการกระจายแสงใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ จึงทำให้ไอพีเอสเอมเพรส 2 สวยงาม กว่าไอพีเอสเอมเพรส ไอพีเอสเอมเพรส 2 มีอัตราการสึกใกล้เคียงกับฟันธรรมชาติ ด้านทานต่อความชื้น การกัดกร่อนและทนต่อสารเคมีได้ดีกว่า สามารถยึดกับฟันธรรมชาติได้ดี จากการศึกษาพบว่าการใช้ กรดไฮโดรฟลูออริกเจลกัดเป็นเวลา 20 วินาทีและทาสารไซเลน และปรับสภาพ ทำให้เกิดกำลังแรงยึด (bond strength) 30.8 MPa โดยใช้เรซินซีเมนต์ ซึ่งมีความมากกว่าการยึดกับเซรามิกที่ทำจากเซอร์โคเนียม และอะลูมินา (Schweiger และคณะ, 1999)

เนื่องจากปัญหาของวิเนียร์ชนิดดั้งเดิมเกิดการแตกง่าย เพราะช่วงอุณหภูมิในการเผาแคบ ดังนั้นทางบริษัทผู้ผลิตไอพีเอสเอมเพรส 2 จึงได้ทำการผลิตวิเนียร์พอร์ซเลนชนิดใหม่ คือ IPS Eris โดยวิเนียร์ชนิดใหม่นี้มีช่วงอุณหภูมิในการเผากว้าง ซึ่งประกอบด้วย SiO_2 60.0-72.0 %, K_2O 10.0-23.0 %, ZnO 8.5-20.0 %, Al_2O_3 2.0-8.0 %, CaO 1.0-10.5 %, Li_2O 1.0-5.0 %, P_2O_5 0.5-6.0%, F 0.1-1.0 %, oxide 5.0-10.0 %, pigment 0.0-3.0 %. อุณหภูมิในการเผาสำหรับ ทำครอบฟันอยู่ในช่วง 730°C - 760°C ซึ่งต่ำกว่า อุณหภูมิวิกฤติ (critical temperature) ที่มีค่า 800°C ผลของการที่อุณหภูมิอยู่ในช่วงกว้างทำให้การหลอมเซรามิกนี้มีความผิดพลาดน้อยกว่าเซรามิกเดิม ซึ่งทางบริษัทอ้างว่าให้ประสิทธิภาพในการใช้ร่วมกับไอพีเอสเอมเพรส 2 คอโรได้ดีขึ้นตามตาราง ข้างล่าง อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีผลการยืนยันในทางการวิจัยและทางคลินิก

ตารางที่ 1 แสดง Physical and material properties of IPS Empress 2 Layering material

	IPS Empress 2 Layering material	IPS Eris Layering material
CTE (100-400°C)	$9.7 \pm 0.5 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$	$9.75 \pm 0.25 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
3- point flexural strength (according to ISO 6872)	$100 \pm 25 \text{ MPa}$	$85 \pm 25 \text{ MPa}$

ข้อบ่งชี้สำหรับไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ได้แก่การทำครอบฟันซี่เดียวฟันหน้า ฟันหลัง วีเนียร์ อินเลย์ และ ออนเลย์ สะพานฟันหน้า 3 ซี่ ถึงฟันกรามน้อยซี่ที่สอง มีข้อห้ามใช้ในผู้ป่วยที่มีการทำงานนอกหน้าที่ (parafuction) เช่น นอนกัดฟัน ขบแน่นฟัน ฟันหลักเปลี่ยนสีมาก สะพานฟันที่มีฟันหลักเดียว ไม่มีความสูงพอสำหรับทำส่วนเชื่อมโยงให้แข็งแรง หรือมีช่องระหว่างฟันที่กว้าง 11 มม. ในฟันหน้า และ 9 มม. ในฟันซี่อื่น นอกจากนี้ในการใส่ฟันกรามใหญ่และฟันกรามน้อยซี่ที่สอง ฟันที่เอียงบิด ตำแหน่งมาก ๆ ฟันปลอมติดแน่นชนิดยึดข้างเดียว (cantilever) และฟันโยกมาก ๆ ก็เป็นข้อห้ามเช่นเดียวกัน

ปัจจุบัน ออลเซรามิกที่ประสบความสำเร็จในทางคลินิกและมีใช้ในประเทศไทย ได้แก่อินซีแรม ซึ่งมีความแข็งแรงสูงแต่ค่อนข้างทึบแสง และไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ซึ่งมีความโปร่งแสงสูงกว่าแต่มีความแข็งแรงน้อยกว่า

การศึกษาเกี่ยวกับความแข็งแรงของเซรามิกด้วยการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

ในปัจจุบันการบูรณะฟันด้วยวัสดุที่มีสีเหมือนฟันธรรมชาติกำลังเป็นที่นิยมอย่างมาก แต่ความสำเร็จในระยะยาวยังไม่เป็นที่แน่นอน จึงได้มีผู้สนใจศึกษาและทำการทดสอบคุณสมบัติของเซรามิก โดยเฉพาะในเรื่องความแข็งแรง เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการใช้งานในคลินิก

ความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (biaxial flexural strength) ใช้ทดสอบความแข็งแรงของวัสดุเซรามิก ได้มีผู้ทำการวิจัยมากมายถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงดัดขวางของเซรามิกชนิดต่าง ๆ เช่น ผลของความชื้น ผลของอุณหภูมิ ผลของขบวนการทำครอบฟันและสะพานที่แตกต่างกันและโครงสร้างทางเคมีของวัสดุ

Fairhurst และคณะ (1993) ทำการทดลองเปรียบเทียบความล้า (fatigue) ของพอร์ซเลน พบว่าการทดสอบในสภาวะที่แห้งจะให้ความแข็งแรงมากกว่าสภาวะที่เปียก เนื่องจากการเปียกทำให้การขยายตัวของรอยร้าว

Anusavice และ Hojjatie (1991) ได้ศึกษาผลของ thermal tempering ต่อความแข็งแรงและการขยายตัวของรอยร้าวของเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน พบว่า tempering stress มีผลทำให้มีความแข็งแรงสูงขึ้นและความยาวของรอยร้าวสั้นลง Al-Shehri และ คณะ (1996) พบว่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนมีผลต่อความแข็งแรงดัดขวาง โดยค่าความแข็งแรงของไดคอร์ (Dicor) ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนเท่ากับ $7.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ สูงกว่าค่าของวิตาดัวร์เอ็นซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนเท่ากับ $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ นั่นคือความแข็งแรงดัดขวางแปรผกผันกับสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน วัสดุที่มีความแตกต่างกันระหว่างสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนมากจะมีค่าความแข็งแรงต่ำ Oh และ คณะ (2000) ได้ศึกษาผลของการอัดด้วยความร้อน และการกระตุ้นด้วยความร้อน (heat treatment)

ต่อความแข็งแรงในวัสดุไฮฟิเอสเอมเพรส 2 พบว่า การอัดด้วยความร้อนทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้การอัดด้วยความร้อนร่วมกับการกระตุ้นด้วยความร้อนให้ผลไม่แตกต่างไปจากการใช้การอัดด้วยความร้อนอย่างเดียว Fairhurst และคณะ (1992) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบความแข็งแรงตัดขวาง กลุ่มฟอร์ซเลนที่ได้รับการเผาเคลือบผิว (glaze) และกลุ่มที่ไม่ได้รับการเผาเคลือบผิว ผลปรากฏว่าการเผาเคลือบผิวไม่ได้ทำให้ค่าความแข็งแรงตัดขวางเพิ่มขึ้น Rosenstiel และคณะ (1993) ได้ศึกษาความแข็งแรงของเซรามิกที่ทำการเคลือบผิว (surface coating) พบว่าเมื่อเคลือบผิวด้วยเรซิน (resin coated) ที่เซรามิกจะทำให้ความแข็งแรงตัดขวางสูงขึ้น ส่วนการกัดผิวด้วยกรดมีผลเพียงเล็กน้อย Thompson และ Anusavice (1994) ได้ศึกษาผลของเทคนิคการกัดผิวด้วยกรดต่อความแข็งแรงตัดขวางในไดคอร พบว่ากลุ่มที่กัดด้วยกรด 10% NH_4HF_2 จะไม่มีความแตกต่างของความแข็งแรงตัดขวางจากกลุ่มที่ไม่ได้กัดด้วยกรดอย่างมีนัยสำคัญ Kosmac และคณะ (1999) ได้ศึกษาผลของการกรอผิว (surface grinding) และการเป่าทราย (sandblasting) ที่มีผลต่อความแข็งแรงตัดขวางโดยทำการทดลองในวัสดุเซรามิก y - TZP พบว่า การเป่าทรายจะทำให้ความแข็งแรงตัดขวางสูงขึ้น แต่การกรอผิวจะทำให้ความแข็งแรงตัดขวางลดลง และทำการทดลองเปรียบเทียบความแข็งแรงตัดขวางของการเป่าทราย การขัดแบบแห้ง (dry ground) และการขัดแบบเปียก (wet ground) พบว่าความแข็งแรงตัดขวางของการเป่าผิวด้วยทรายมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือการขัดแบบแห้งและการขัดแบบเปียก Nakazato และคณะ (1992) วัดค่าความแข็งแรงตัดขวางของ CAD/CAM ceramic เมื่อถูกขัดด้วย diamond pad ขนาดต่าง ๆ กัน ผลคือเมื่อใช้ diamond pad ที่มีขนาดผงขัดเล็กกลง ก็จะมีค่าความแข็งแรงตัดขวางสูงขึ้น โดยในการทดลองนี้ใช้ขนาดผงขัด 100 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเล็กที่สุดจะให้ค่าความแข็งแรงตัดขวางสูงสุด

- การเพิ่มความแข็งแรงของเซรามิกโดยการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของวัสดุ

Denry และคณะ (1993) พบว่า เมื่อนำเฟลด์สปาทิกมาทำการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange) ขั้วระหว่าง Li กับ Na และ K กับ Li จะให้ความแข็งแรงตัดขวางสูงกว่าการแลกเปลี่ยนประจุ K เพียงอย่างเดียว และยังพบว่า การแลกเปลี่ยนประจุ K จะให้ความแข็งแรงตัดขวางสูงขึ้น ยกเว้นที่อุณหภูมิ 400 °C หรือ 500 °C ส่วนการแลกเปลี่ยนประจุ Rb จะทำให้ความแข็งแรงตัดขวางสูงขึ้นในทุกอุณหภูมิ Holloway Denry และ Rosenstiel (1997) ได้ศึกษาถึงผลของการทำ dual ion exchange พบว่าการทำ dual ion exchange ให้ความแข็งแรงตัดขวางเพิ่มขึ้นโดยขึ้นกับความหนาของพื้นผิวที่แลกเปลี่ยน ion โดยพื้นผิวที่จะต้องมีความหนาน้อยกว่า 140 μm Pidcock และคณะ (1995) ได้ทำการทดลองพบว่า การแลกเปลี่ยนประจุ Li ซึ่งเกิดจากการขัดด้วย paste ที่

ผลิตขึ้นมาเองที่ผิวของเซรามิกทำให้ความแข็งแรงดัดขวางเพิ่มขึ้น Denry และ คณะ (1996) ได้ศึกษาผลของการคงสภาพโครงสร้างคิวบิก (stabilize cubic form) ของผลึกลูไซต์ต่อความแข็งแรงดัดขวางพบว่าเมื่อเติมพอลลูไซต์ร้อยละ 22.2 โดยน้ำหนัก และเผาที่ 1038 °C จะมีความแข็งแรงดัดขวางที่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมซึ่งไม่ได้เติมพอลลูไซต์ นอกจากนี้ยังมีผลในการคงสภาพโครงสร้างคิวบิกของผลึกลูไซต์ไม่ให้เปลี่ยนเป็น tetragonal ซึ่งจะทำให้มีปริมาตรลดลง ดังนั้นการเติมพอลลูไซต์จึงช่วยทำให้เกิดรอยร้าวน้อยลง แต่ทำให้ความแข็งแรงดัดขวางลดลง

- การเปรียบเทียบความแข็งแรงของเซรามิกที่มีโครงสร้างต่าง ๆ กัน

Wagner และ Chu (1996) ได้ทำการเปรียบเทียบความแข็งแรงดัดขวางของวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ ไอพีเอสเอมเพรส อินซีแรม และโพรเซราอลซีแรม ปรากฏว่าความแข็งแรงดัดขวางของทั้ง 3 วัสดุ มีความแตกต่างกัน โดยโพรเซราอลซีแรมมีค่าสูงสุด (687 MPa) รองลงมาคือ อินซีแรม (352 เมกะปาสคาล) และไอพีเอสเอมเพรสมีค่าน้อยที่สุด (134 MPa) Wen และคณะ (1999) ทำการศึกษาลักษณะเดียวกัน แต่พบว่าอินซีแรมและโพรเซราอลซีแรม มีค่าความแข็งแรงดัดขวางใกล้เคียงกัน และมีค่ามากกว่าไอพีเอสเอมเพรส (433 ± 90 MPa , 472 ± 107 MPa และ 155 ± 24 MPa ตามลำดับ) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Zeng Oden และ Roweliffe (1998) ซึ่งได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของโพรเซราอลซีแรม และอินซีแรม ในการสร้างเป็นแกนพบว่าความแข็งแรงดัดขวางของโพรเซราอลซีแรมสูงกว่าอินซีแรม Arbakry และคณะ (2003) ได้ทำการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางของไอพีเอสเอมเพรส และไอพีเอสเอมเพรส 2 พบว่า ไอพีเอสเอมเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางมากกว่าไอพีเอสเอมเพรส โดยมีค่า 440 ± 55 MPa และ 407 ± 45 MPa ตามลำดับ

- ผลของความหนาต่อความแข็งแรงของเซรามิกสองชนิดที่เชื่อมติดกัน

Zeng Oden และ Roweliffe (1998) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของ โพรเซราอลซีแรม อินซีแรม และ พอร์ซเลนทางทันตกรรม 3 ชนิด คือ โพรเซราอลซีแรม ซึ่งเป็นชั้นเดียว วิต้าดัวร์เอ็น ซึ่งเป็นสองชั้น และ วิต้าดัวร์อัลฟา ซึ่งเป็นสองชั้น พบว่า ความแข็งแรงดัดขวางของวัสดุสองชั้นสูงกว่าพอร์ซเลนชั้นเดียว 5 – 6 เท่า Ohyama , Yoshinari และ Oda (1999) ทดสอบความแข็งแรงดัดขวางของอินซีแรมและไอพีเอสเอมเพรสโดยทำชั้นตัวอย่างเป็นแบบต่าง ๆ 8 กลุ่ม คือ อินซีแรมคอร์ , อินซีแรมโอเพคเดนทีน, อินซีแรมคอร์ + วิเนียร์พอร์ซเลน, อินซีแรมโอเพคเดนทีน + วิเนียร์พอร์ซเลน , ไอพีเอสเอมเพรสเดนทีนคอร์ , ไอพีเอสเอมเพรสอินไซซอล , ไอพีเอสเอมเพรสเดนทีนคอร์ + วิเนียร์พอร์ซเลน และไอพีเอสเอมเพรสอินไซซอล + วิเนียร์พอร์ซเลน พบว่าอินซีแรม

คอร์มีความแข็งแรงดัดขวางสูงสุด อินซีแรมที่เป็นชั้นเดียวจะมีความแข็งแรงดัดขวางสูงกว่าแบบสองชั้น แต่ไอพีเอสเอ็มเพรสทั้งชั้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางใกล้เคียงกับของไอพีเอสเอ็มเพรสที่รวมกับพอร์ซเลน Thompson (2000) ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความสัมพันธ์ความหนาของชั้นพอร์ซเลนต่อจุดเริ่มต้นการแตก (failure origin) และชนิดของการแตก (failure mode) โดยทำชั้นทดสอบเป็นแผ่นสองชั้นจากอินซีแรม และวิทาดัวร์อัลฟา ด้วยความหนาที่แตกต่างกันเป็น 1:2 , 1:1 และ 2:1 เมื่อทำการวัดความแข็งแรงดัดขวางของทั้งสามแบบพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างการเริ่มแตกที่ผิวและการเริ่มแตกระหว่างชั้น (interface) โดยการเริ่มแตกที่ผิวจะพบมากในความหนา 1:2 , 1:1 และ 2:1 ตามลำดับ และการเริ่มแตกระหว่างชั้นจะพบมากในความหนา 2:1, 1:1 และ 1:2 ตามลำดับ สำหรับชนิดของการแตกพบว่ามีการแตกแยกชั้นมากที่สุดในความหนา 1:2 รองลงมาที่ความหนา 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ

ชัมยพร และ ถนอมศุก (2543) ได้ทำการศึกษา ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ในภาวะความหนาโครงสร้างชั้นต่าง ๆ กัน พบว่า ค่าความแข็งแรงดัดขวางของกลุ่มคอร์: วีเนียร์ (1 : 1) มีความแข็งแรงดัดขวางมากกว่ากลุ่มคอร์ทั้งชั้น อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานพบว่า เมื่อมีชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนเข้ามาเกี่ยวข้องในชั้นตัวอย่าง จะมีความเบี่ยงเบนของข้อมูลมากขึ้นถึงร้อยละ 23.0 % เนื่องจากการขึ้นรูปวีเนียร์พอร์ซเลนไม่สามารถทำให้ชั้นตัวอย่างทุกชั้นเหมือนกันได้ ซึ่งอาจเกิดจากการอัดแน่นของผงพอร์ซเลนที่ไม่สามารถควบคุมให้เท่ากันทุกชั้นตัวอย่าง หรืออาจเกิดจากอุณหภูมิต่ำในการเผาของวีเนียร์ชนิดดั้งเดิมที่มีช่วงในการเผาที่แคบทำให้การหลอมของวีเนียร์ชนิดดั้งเดิมมีความผิดพลาดทำให้ความน่าเชื่อถือของงานน้อยลง ดังนั้นการทดลองควรทำการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ให้รัดกุมยิ่งขึ้น นอกจากนี้ทางบริษัทผู้ผลิต ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ได้นำเอาวีเนียร์ชนิดใหม่ ออกมาซึ่งยังไม่มีผลการวิจัยสนับสนุนว่าดีขึ้นจากเดิมหรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. ขึ้นตัวอย่างเตรียมโดยใช้วัสดุอลูมินเซรามิกสี C4 2 ชนิด ได้แก่ อินซีแรม และ ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 โดยใช้ วิเนียร์ชื่อ vitadur alpha และ IPS Eris ตามลำดับ ดังภาคผนวกตาราง ก
2. แป้นทดสอบ piston on three ball
3. เครื่องวัด digital micrometer
4. ขี้ผึ้งหล่อแบบสีน้ำเงิน (blue inlay wax)
5. กระดาษทราย เบอร์ 80, 150, 320, 600, 1000
6. แผ่นเหล็กเป็นแบบขึ้นรูป
7. เครื่องทำความสะอาดด้วยความถี่เหนือเสียง (ultrasonic cleanser)
8. เครื่องทดสอบ Instron 5583

วิธีการทดลอง

การศึกษานี้เป็นการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของ อินซีแรมและไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ด้วยการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนความหนาชั้นคอร์ต่อวิเนียร์รูปแบบต่างๆกัน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 อัตราส่วนคอร์ : วิเนียร์ เท่ากับ 1.2:0 คือส่วนแกน ทั้งขึ้น หนา 1.2 ม.ม.

กลุ่มที่ 2 อัตราส่วนคอร์ : วิเนียร์ เท่ากับ 2:1 แกนหนา 0.8 ม.ม. + วิเนียร์พอร์ซเลนหนา 0.4 ม.ม.

กลุ่มที่ 3 อัตราส่วนคอร์ : วิเนียร์ เท่ากับ 1:1 แกนหนา 0.6 ม.ม. + วิเนียร์พอร์ซเลน หนา 0.6 ม.ม.

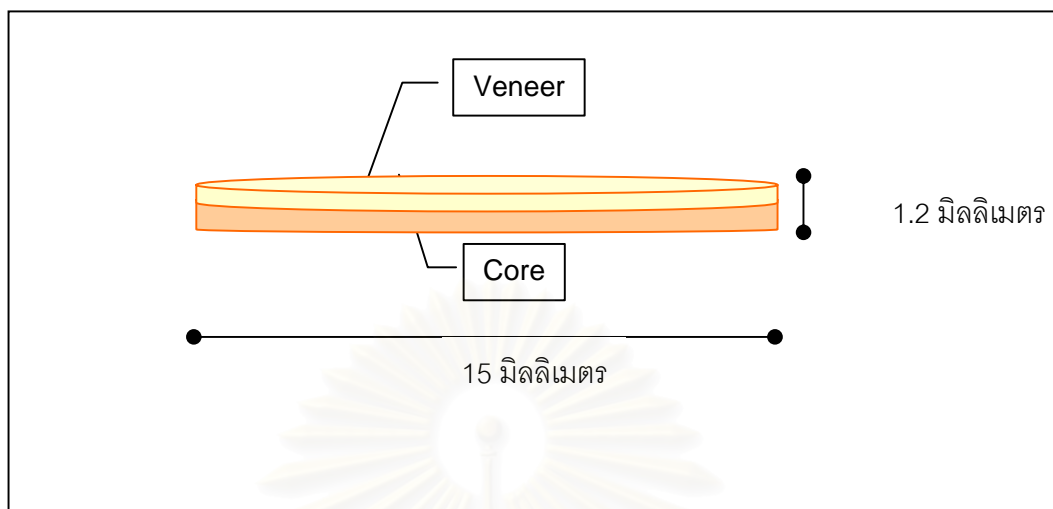
กลุ่มที่ 4 อัตราส่วนคอร์ : วิเนียร์ เท่ากับ 1:2 แกนหนา 0.4 ม.ม. + วิเนียร์พอร์ซเลนหนา 0.8 ม.ม.

กลุ่มที่ 5 อัตราส่วนคอร์ : วิเนียร์ เท่ากับ 0:1.2 คือส่วนวิเนียร์พอร์ซเลนทั้งขึ้น หนา 1.2 ม.ม.

ทำการขึ้นรูปขึ้นตัวอย่างเซรามิกทั้ง 2 ชนิด คือ

1. อินซีแรม + วิเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha
2. ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 + วิเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris

ขึ้นรูปเซรามิกชนิดละ 5 กลุ่ม ให้มีลักษณะตามมาตรฐาน ISO 6872 มีรูปร่างเป็นแผ่นกลม (disc) เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ± 0.5 มิลลิเมตร หนา 1.2 ± 0.005 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงชั้นตัวอย่างที่ใช้วัดความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

วิธีการเตรียมชิ้นตัวอย่าง

การทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนในการวิจัยครั้งนี้ ใช้ชิ้นตัวอย่างที่ทำจากวัสดุอินซีแรม (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) ร่วมกับวีเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha porcelain (Vita Zahnfabrik, Bad Sackingen, Germany) และ วัสดุไอพีเอสเอ็มเพรส 2 (Ivoclar, schaan, Liechtenstein) ร่วมกับวีเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) กลุ่มในการทดลองทั้งหมดเป็นดังตารางที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 แสดงการแบ่งกลุ่มของชิ้นตัวอย่าง

กลุ่มที่	ชิ้นตัวอย่าง	จำนวน (ชิ้น)
1	อินซีแรม คอร์ทั้งชิ้นหนา 1.2 ม.ม	10
2	อินซีแรมคอร์หนา 0.8 ม.ม. + วีเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha หนา 0.4 ม.ม.	10
3	อินซีแรมคอร์หนา 0.6 ม.ม + วีเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha หนา 0.6 ม.ม.	10
4	อินซีแรมคอร์หนา 0.4 ม.ม + วีเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha หนา 0.8 ม.ม.	10
5	วีเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha ทั้งชิ้นหนา 1.2 ม.ม.	10
6	ไอพีเอสเอมเพรส 2 คอร์ทั้งชิ้นหนา 1.2 ม.ม.	10
7	ไอพีเอสเอมเพรส 2 คอร์หนา 0.8 ม.ม.+ วีเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris หนา 0.4 ม.ม.	10
8	ไอพีเอสเอมเพรส 2 คอร์หนา 0.6 ม.ม + วีเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris หนา 0.6 ม.ม.	10
9	ไอพีเอสเอมเพรส 2 คอร์หนา 0.4 ม.ม + วีเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris หนา 0.8 ม.ม.	10
10	วีเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris ทั้งชิ้นหนา 1.2 ม.ม.	10

1 การเตรียมชิ้นอินซีแรม (Thompson, 2000)

1.1 การเตรียมส่วนแกน

สร้างแบบของชิ้นตัวอย่าง โดยทำการเตรียม slip material โดยนำน้ำ 1 ขวด ใส่ลงในบีกเกอร์ พร้อมกับ additive 1 หยดผสมให้เข้ากัน จากนั้นตวงส่วนผสม 38 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ผสมในเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 5-8 วินาที ส่วนผสมจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันไม่เหนียว หลังจากนั้นนำเข้าเครื่องดูดสุญญากาศเป็นเวลา 1 นาที รินส่วนผสมของ slip ลงบนขวดพลาสติกปิดฝาขวด เพื่อป้องกันการระเหยของส่วนผสม

ผสม special plaster ในอัตราส่วน ผง 20 กรัม ต่อ น้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร ในเครื่องสุญญากาศ เทลงท่อทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว สูง 1 นิ้ว รอให้แข็งตัวแล้วค่อยเอาออกจากท่อทรงกระบอก ทาสวนของ slip material ลงบนแผ่นเหล็กที่ผ่านการกลึงให้เป็นหลุมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร หนากว่าขนาดของชิ้นตัวอย่างที่ต้องการประมาณ 0.2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 โดยมี special plaster รองอยู่ข้างใต้ ทิ้งให้แห้งเป็นเวลา 40 นาที นำเข้าเผาในเตาเผา (ภาคผนวกตาราง ข)

ขัดชิ้นตัวอย่างด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 ให้ได้ขนาดใหญ่กว่าที่ต้องการเล็กน้อย ให้ทำการคัดเลือกชิ้นตัวอย่างก่อนแทรกซึมด้วยแก้วแลนทาลัมอะลูมิเนียมซิลิเกต แล้ววางบนแผ่น แพลตินัม - ทอง

หนา 0.1 มิลลิเมตรสำหรับขบวนการเผาแทรกซึมและทำการแทรกซึมขึ้นตัวอย่างด้วยแก้วแลนทาลัมอะลูมิเนียมซิลิเกตในเตาเผา ดังรูปที่ 3 ขบวนการเผาขึ้นกับความสูงของชั้นตัวอย่าง (ชั้นตัวอย่างสูง 0.6 มิลลิเมตร เผาเป็นเวลา 30 นาที จนถึงอุณหภูมิ 1100°C แล้วปล่อยให้เย็นเป็นเวลา 4 ชั่วโมงในชั้นตัวอย่างที่สูง 0.6-1.2 มิลลิเมตรจะเผา เป็นเวลา 30 นาที จนถึงอุณหภูมิ 1100°C แล้ว ปล่อยให้เย็นเป็นเวลา 6 ชั่วโมง) ทำการกำจัดแก้วส่วนเกินออกโดยการเป่าทรายด้วยอะลูมิเนียมออกไซด์ขนาด 50 ไมครอน ชัดอีกครั้งด้วยการเป่าทราย เพื่อให้แน่ใจว่ากำจัดแก้วส่วนเกินออกจนหมด และได้ขนาดของอินซีแรมตามต้องการ

1.2 การเตรียมชั้นวีเนียร์ (vitadur alpha porcelain)

ล้างชั้นตัวอย่างด้วยน้ำเปล่าแล้วทำวีเนียร์ด้วย Vitadur Alpha โดยเผาในเตา (ภาคผนวกตารางที่ ค) จากนั้นขัดด้านที่พอกพอร์ซเลนทับด้วยกระดาษทราย เบอร์ 80, 150, 320, 600 และ 1000 ตามลำดับโดยวางแบบขึ้นตัวอย่างบนแบบที่กลึงไว้มีความลึกของแบบเท่ากับความหนาที่ต้องการดังรูปที่ 4 โดยใช้ดิจิตอลไมโครมิเตอร์ ดังรูปที่ 5 ทำการวัด 5 จุด คือ มุมทั้ง 4 และ ตรงกลาง 1 จุด ดังรูปที่ 6 แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยให้ได้ชั้นตัวอย่างที่มีความหนารวม 1.2 ± 0.005 มม. ก่อนนำไปความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิค

การเตรียมชั้นตัวอย่างไอพีเอสเอ็มเพรส 2 (Manufacturer of IPS Empress 2)

2.1 การเตรียมชั้นแกน

สร้างแบบขี้ผึ้งจากแบบหล่อ (mold) ด้วย blue inlay wax (Kerr , U.S.A) ซึ่งเป็นขี้ผึ้งที่เผาแล้วไม่มีเศษ (residual) หลงเหลืออยู่ โดยสร้างขี้ผึ้งให้มีรูปร่างเป็นแผ่นกลมสำหรับเซรามิก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มิลลิเมตร หนากว่าชั้นไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ที่ต้องการประมาณ 0.2 มิลลิเมตร โดยใช้แผ่นเหล็กเช่นเดียวกับที่กล่าวในอินซีแรม ดังรูปที่ 3 นำแบบหล่อขี้ผึ้งไปลงอินเวสท์เมนต์ ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต นำแบบหล่อไป Preheat เพื่อเผาไล่ขี้ผึ้ง (lost -wax technique) (ภาคผนวกตารางที่ ง) จากนั้นนำไปเข้าขบวนการ heat pressing ด้วยเครื่อง EP 500 press furnace (ภาคผนวกตารางที่ จ)

นำแบบหล่อออกจากเตาเผา ปล่อยให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง ทำการแกะขึ้นเซรามิกที่ได้ ออกจากแบบหล่อ จากนั้นนำชั้นตัวอย่างมาขัดแต่งให้ได้ขนาดตามต้องการด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80, 150, 320, 600, และ 1000 ตามลำดับ โดยวางแบบขึ้นตัวอย่างบนแบบที่กลึงไว้มีความลึกของแบบเท่ากับความหนาที่ต้องการดังรูปที่ 4

วัดความหนาของชิ้นงานโดยใช้ ดิจิตอล ไมโครมิเตอร์ ทำการวัด 5 จุด เช่นเดียวกับของอินซีแรม

เตรียมพื้นผิว (surface treatment) เซรามิกด้วยการเป่าทรายที่ขึ้นตัวอย่างด้วย Al_2O_3 (50 microns) ที่ความดัน 1 bar จากนั้นทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาดและทำให้แห้งด้วยลมที่ปราศจากน้ำมัน

2.2 การสร้างชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน (dentin material)

สร้างชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน สำหรับขึ้นตัวอย่างในกลุ่มที่ 7, 8, 9 และสร้างวีเนียร์พอร์ซเลน ทั้งขึ้นในกลุ่มที่ 10 โดยใช้แผ่นเหล็กหนา 1.4 มิลลิเมตรเป็นแบบ ส่วนในกลุ่มที่ 7, 8, 9 นำส่วนของ คอร์ที่ขัดได้ขนาดแล้ววางในแผ่นเหล็ก จากนั้นนำไปขึ้นรูปวีเนียร์พอร์ซเลนแล้วนำไปเผาตามอุณหภูมิของ บริษัทผู้ผลิต (ภาคผนวกตาราง ฉ) จากนั้นขัดด้านที่พอกพอร์ซเลนทับด้วยกระดาษทราย เบอร์ 80, 150, 320, 600 และ 1000 ตามลำดับ ให้ได้ขึ้นตัวอย่างที่มีความหนารวม 1.2 มิลลิเมตร ทำการวัดความหนาของชิ้นงาน ด้วยวิธีเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว

การคัดเลือกขึ้นตัวอย่าง

ในขบวนการสร้างชิ้นงานตั้งแต่ขบวนการสร้างชั้นคอร์หรือชั้นวีเนียร์ หากพบชิ้นงานที่มีรอยร้าว หรือรูพรุนจะทำการคัดออกและสร้างชิ้นงานใหม่ทดแทน

การเก็บขึ้นตัวอย่าง

นำขึ้นตัวอย่างทั้งหมดมาทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 15 นาที ดังรูปที่ 7



รูปที่ 2 แผ่นเหล็กสำหรับทำเป็นแบบ



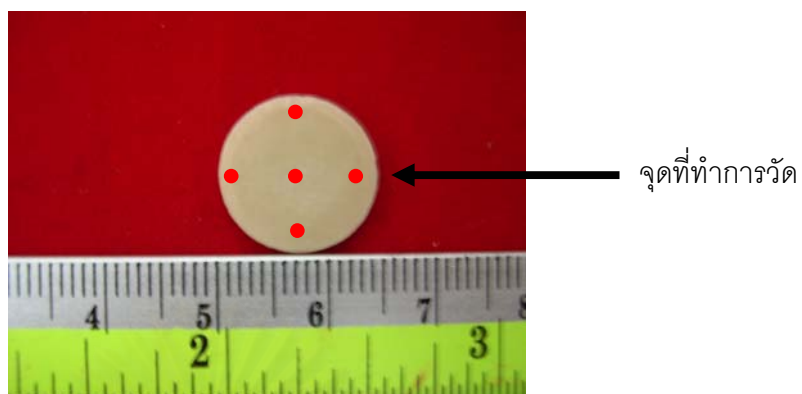
รูปที่ 3 แสดงการแทรกซึมด้วยแลนทาลัมอะลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบกลาส



รูปที่ 4 แบบที่กลิ้งที่มีความลึกของแบบเท่ากับความหนาที่ต้องการ



รูปที่ 5 แสดงเครื่องวัด digital micrometer



รูปที่ 6 แสดงขึ้นตัวอย่างที่เตรียมเสร็จแล้ว

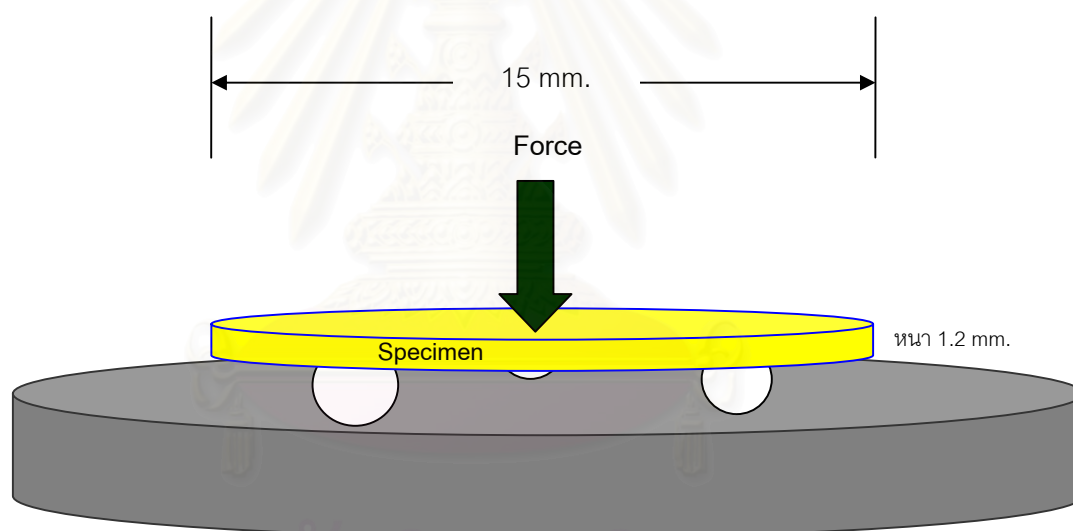


รูปที่ 7 การทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบ Biaxial flexural strength test

นำชิ้นตัวอย่างมาทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนตามมาตรฐาน ISO 6872 ปี 1995 โดยใช้วิธี piston on three ball test ในสภาพแวดล้อมที่แห้ง โดยใช้เครื่อง Instron 5583 (Instron, Canton, MA, USA) เป็นทดสอบเป็นลูกบอลเหล็กรองรับสามลูกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร เรียงตัวทำมุม 120 องศา บนวงกลมที่รองรับ (support circle) เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ใช้หัวกดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มิลลิเมตร วางชิ้นตัวอย่างลงบนเป็นทดสอบโดยให้ส่วนของวีเนียร์ฟอร์ซเลนอยู่ทางด้านบน จากนั้นเคลื่อนหัวกดลงที่กึ่งกลางของชิ้นตัวอย่างด้วยความเร็วหัวกด 1 มิลลิเมตรต่ออนาที จนแตก ดังรูป บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างแตก และเก็บชิ้นตัวอย่างที่แตกเพื่อนำมาศึกษาลักษณะการแตก (fracture analysis)



ภาพที่ 8 การทดสอบ Biaxial flexural strength test โดยใช้วิธี piston on three ball test

คำนวณค่าความแข็งแรงตัดขวางสองแกนโดยใช้สูตรดังนี้

สำหรับ กลุ่มที่ 1, 5, 6, 10 (monolayer)

$$BFS = -0.2387 P (X-Y) / d^2 \text{ (The International Organization for Standardization [ISO], 1995)}$$

สำหรับ กลุ่มที่ 2, 3,4,7,8, 9 (Bilayer)

$$BFS = 6 M / t_a^2 k_{2p} \{E_b t_b / E_a t_a + E_b (t_a + t_b) / (E_a t_a + E_b t_b)\} \text{ (Ohyama และคณะ, 1999)}$$

$$\text{โดย } X = (1+\nu) \ln (r_2/r_3)^2 + \{(1-\nu) / 2\} (r_2/r_3)^2$$

$$Y = (1+\nu) \{1 + \ln (r_1/r_3)\} + (1-\nu) (r_1/r_3)^2$$

$$K_{2p} = 1 + (E_b t_b^3 / E_a t_a^3) + \{3E_b t_b (1+t_b/t_a)^2 / (E_a t_a + E_b t_b)\}$$

$$M = P/8\pi \{(1+\nu) + 2(1+\nu) \ln r_1/r_2 + (1-\nu) \{1-r_2^2/2r_1^2\} r_1^2 r_3^2\}$$

P คือ แรงกดสูงสุดที่ทำให้เกิดการแตก (N)

D คือ ความหนาของชั้นตัวอย่าง ณ จุด ที่เกิดการแตก (mm.)

ν คือ Poisson' s ratio (0.25)

r_1 คือ รัศมีของวงกลมรองรับ (5 mm.)

r_2 คือ รัศมีของบริเวณที่โดนกด (0.75 mm.)

r_3 คือ รัศมีของชั้นตัวอย่าง (7.5 mm.)

E_a คือ Young's modulus ของวีเนียร์พอร์ซเลน (69 GPa) , vitadur alpha (64 GPa)

E_b คือ Young 's modulus ของไอพีเอสเอ็มเพรส (96 GPa) , อินซีแรม (234 GPa)

t_a คือ ความหนาของชั้นวีเนียร์พอร์ซเลน (mm.)

t_b คือ ความหนาของชั้นคอร์ (mm.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม SPSS for Window โดยใช้ ANOVA
- นำชิ้นตัวอย่างที่แตกมาตรวจสอบลักษณะลักษณะพื้นผิวของรอยแตกด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) (JSM 5410LV, JEOL, Ltd , Tokyo, Japan) เพื่อดูลักษณะการแตก



ภาพที่ 9 แสดง Scanning Electron Microscope (JSM 5410LV, JEOL, Ltd , Tokyo, Japan)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1 ข้อมูลดิบและการวิเคราะห์ผลจากข้อมูลดิบ

ผลการทดลองค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของวัสดุคอลเซรามิก 2 ชนิด ที่มีอัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลดิบของค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (BFS) ของเซรามิก 2 ชนิด

ชิ้น ตัวอย่าง	Biaxial flexural strength (MPa)									
	In-Ceram : vitadur alpha					IPS Empress : IPS Eris				
	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 8	กลุ่มที่ 9	กลุ่มที่ 10
1	495.95	343.47	325.49	256.53	55.51	270.63	219.54	232.50	236.90	75.66
2	466.05	290.48	297.34	266.32	53.84	333.49	237.03	271.47	243.82	68.57
3	479.53	368.32	305.50	260.00	65.07	270.14	209.45	271.50	258.28	58.36
4	354.89	347.03	295.41	270.45	79.24	334.63	230.79	247.47	219.56	69.70
5	418.71	321.12	303.82	241.75	43.77	337.42	218.79	231.42	204.99	75.95
6	345.34	351.24	286.95	286.74	43.24	215.81	252.34	272.95	251.29	68.96
7	453.32	320.05	290.56	270.59	61.52	314.16	292.16	263.23	206.27	73.06
8	515.02	340.59	269.92	250.56	56.88	234.61	283.34	295.01	258.93	62.91
9	477.21	348.93	280.88	258.56	56.45	316.70	266.84	291.78	194.26	65.82
10	324.53	357.79	288.43	237.91	50.39	255.51	253.10	290.00	191.64	66.58
Mean	433.06	338.90	294.43	259.94	56.59	288.31	246.34	266.73	226.59	68.56
SD	68.37	22.56	15.19	14.53	10.54	44.64	28.16	23.22	26.37	5.52

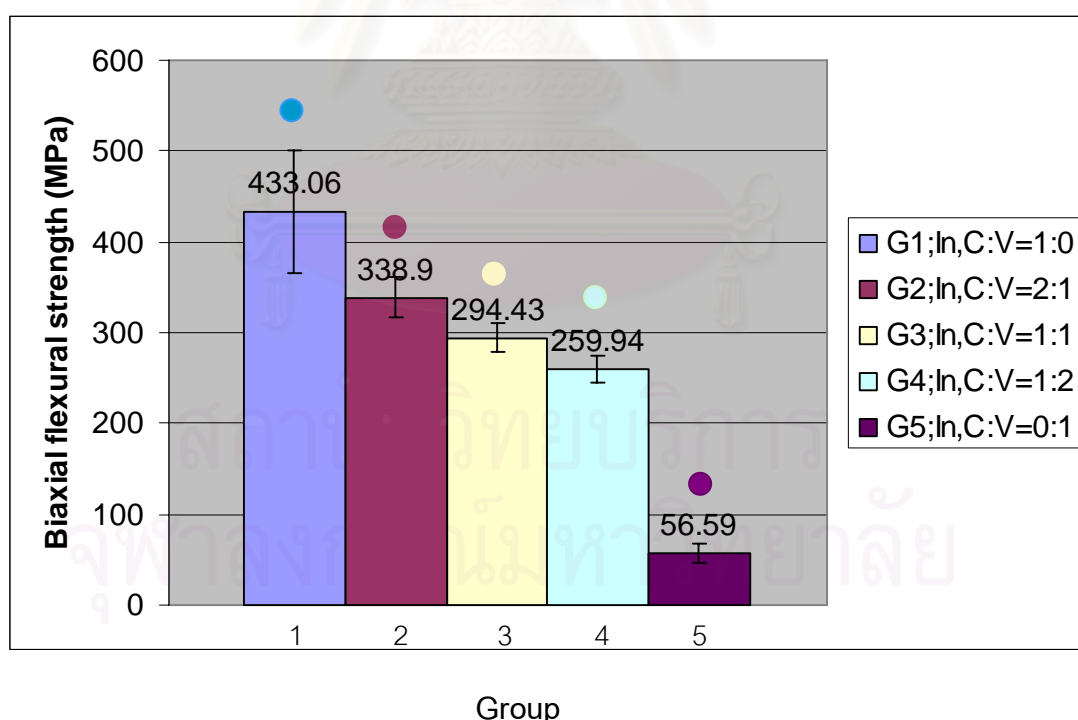
ปัจจัยที่จะมีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางมี 2 ปัจจัย ได้แก่ ความแตกต่างของชนิดของวัสดุ และ อัตราส่วนของคอร์และวีเนียร์ ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบทางสถิติจึงแบ่งการทดสอบสถิติออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. ผลของอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ในเซรามิกแต่ละชนิดต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกน เมื่อวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสถิติ one-way ANOVA (เมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัย)

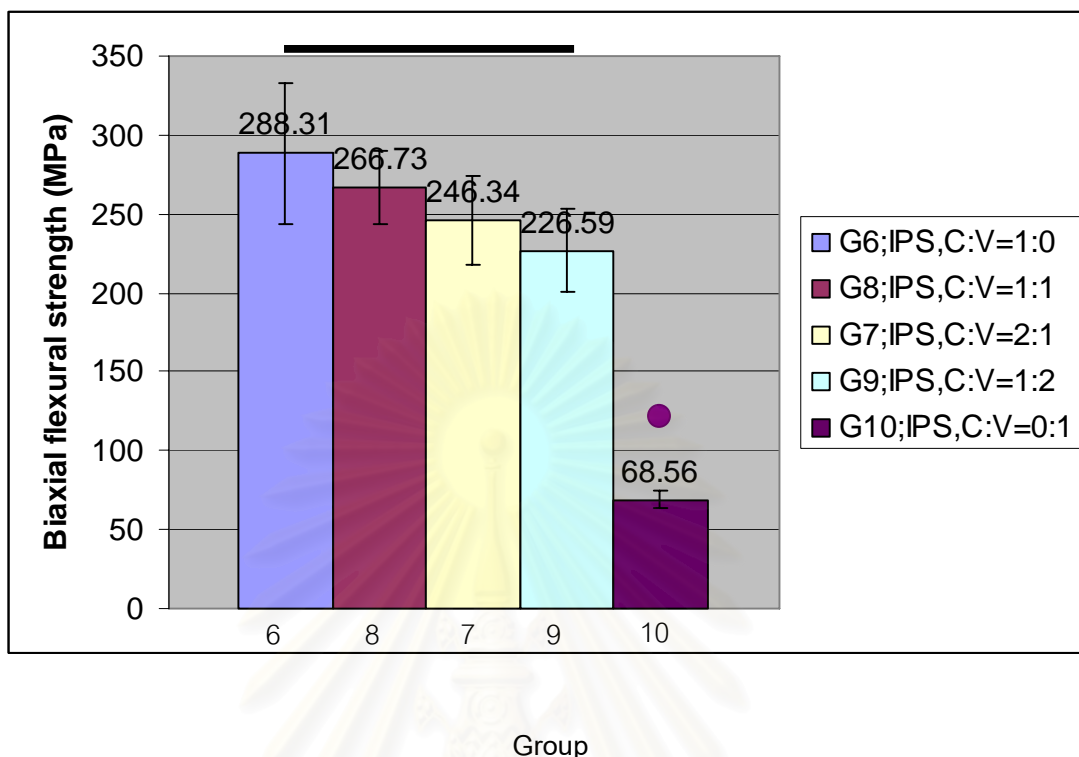
2. ผลของอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์และชนิดของเซรามิกต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกน เมื่อวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสถิติ two-way ANOVA (เมื่อพิจารณาอิทธิพลของ 2 ปัจจัยร่วมกัน)

1. ผลของอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ในเซรามิกแต่ละชนิดต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกน เมื่อวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสถิติ one-way ANOVA ดังภาคผนวกตาราง ข-ข

โดยนำค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของเฉพาะกลุ่มเซรามิกชนิดเดียวกันโดยที่อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ที่แตกต่างกันมาวิเคราะห์ความแตกต่างที่นัยสำคัญ ($p < 0.05$) ได้ผลของอินซึ้แรมดังรูปที่ 10 และไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 แสดงแผนภูมิที่เรียงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเฉพาะกลุ่มของอินซึ้แรม เมื่อวิเคราะห์ one-way ANOVA พบว่า ทุกกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

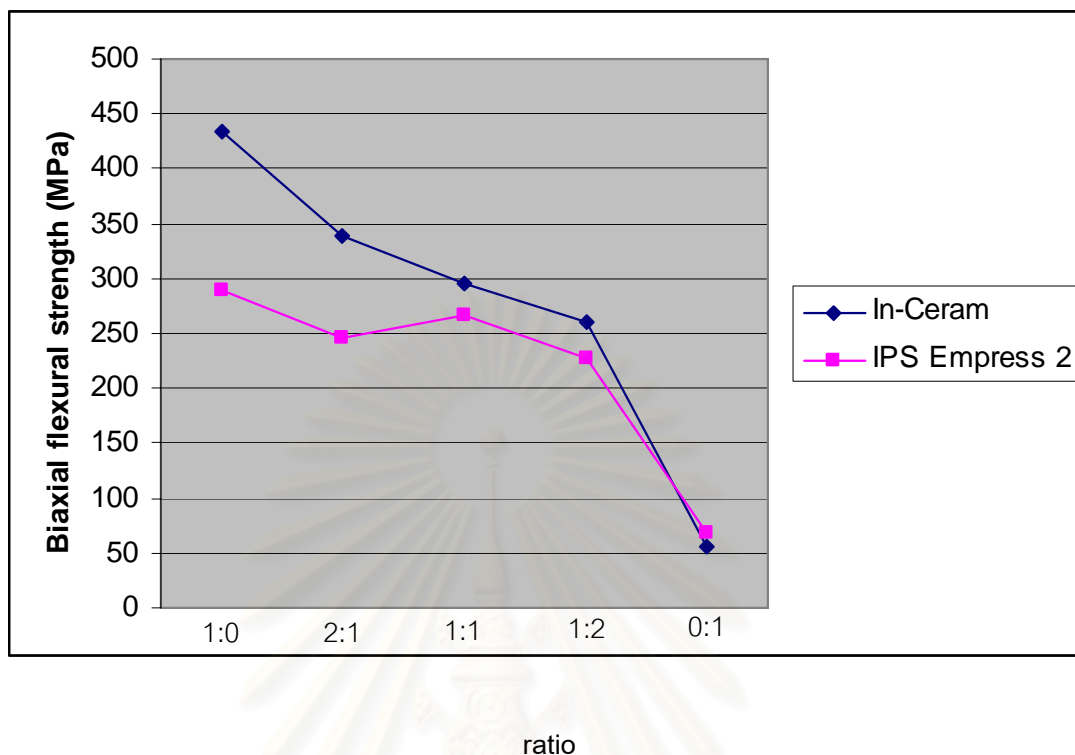


รูปที่ 11 แสดงแผนภูมิที่เรียงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเฉพาะกลุ่มของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 เมื่อวิเคราะห์ one-way ANOVA

จากรูปที่ 10 พบว่าในกลุ่มที่มี In-Ceram เป็นคอร์นั้นเมื่ออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกัน ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่านี้นลดลงเมื่อความหนาของชั้นคอร์นั้นลดลง แต่จากรูปที่ 11 พบว่าในกลุ่มที่มี IPS Empress 2 เป็นคอร์นั้นเมื่ออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกัน (ไม่รวมกลุ่มที่ไม่มีคอร์) ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแตกต่างกัน อย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

2. ผลของอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์และชนิดของเซรามิกต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเมื่อวิเคราะห์ด้วยการทดสอบสถิติ two-way ANOVA (เมื่อพิจารณาอิทธิพลของ 2 ปัจจัยร่วมกัน)

เพื่อวิเคราะห์ว่าชนิดของเซรามิกและอัตราส่วนความหนาคอร์ต่อวีเนียร์มีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนหรือไม่ จากรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงกราฟการตรวจสอบว่าทั้งชนิดของเซรามิกและอัตราส่วนคอร์ต่อวิเนียร์ มีผลร่วมกันต่อความแข็งแรงดัดขวางสองแกน

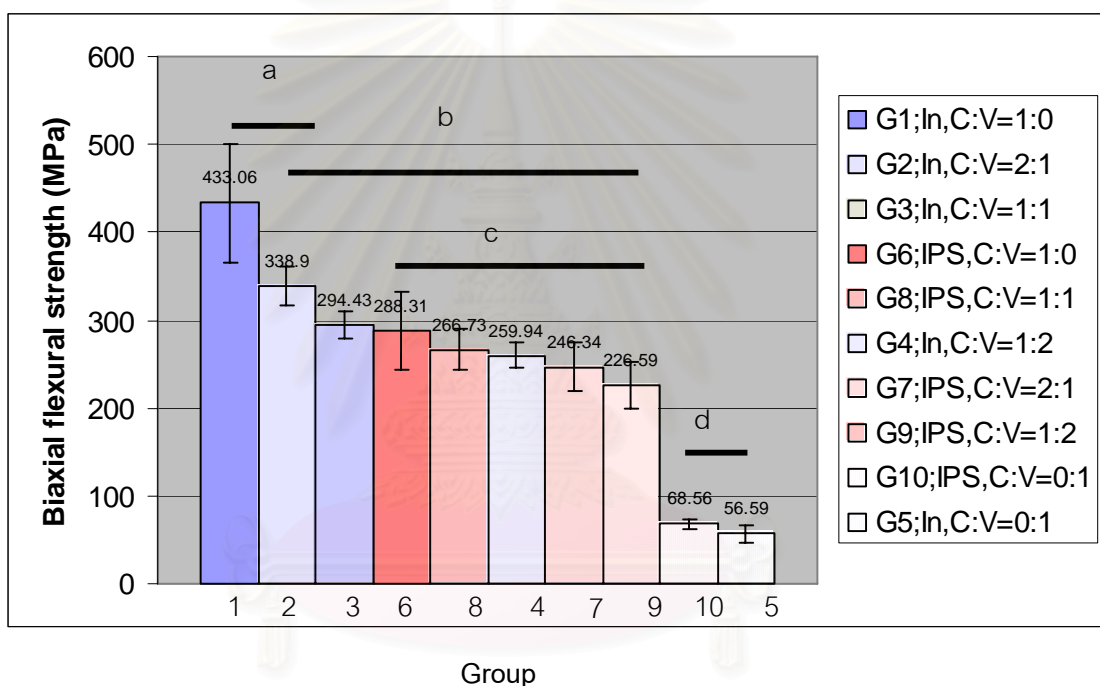
พบว่า ชนิดของเซรามิกมีผลร่วมกันกับอัตราส่วนความหนาคอร์ต่อวิเนียร์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังในภาคผนวกตาราง ฅ

จากผลการทดลอง พบว่ากลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนสูงสุดคือ กลุ่มของ อินซีแรมทั้งชิ้น โดยมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเท่ากับ 433.06 MPa ส่วนกลุ่มที่มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนต่ำสุดคือ กลุ่มของวิเนียร์ vitadur alpha ทั้งชิ้น โดยมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเท่ากับ 56.59 MPa

จากนั้นนำข้อมูลทั้ง 10 กลุ่มมาทดสอบการกระจายตัวของข้อมูล พบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ และนำมาเปรียบเทียบด้วยการทดสอบแบบลีแวน (Levene's Test) พบว่าค่าความแปรปรวนของข้อมูลทั้ง 10 กลุ่มค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงเลือกการทดสอบการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบ แพมเฮน

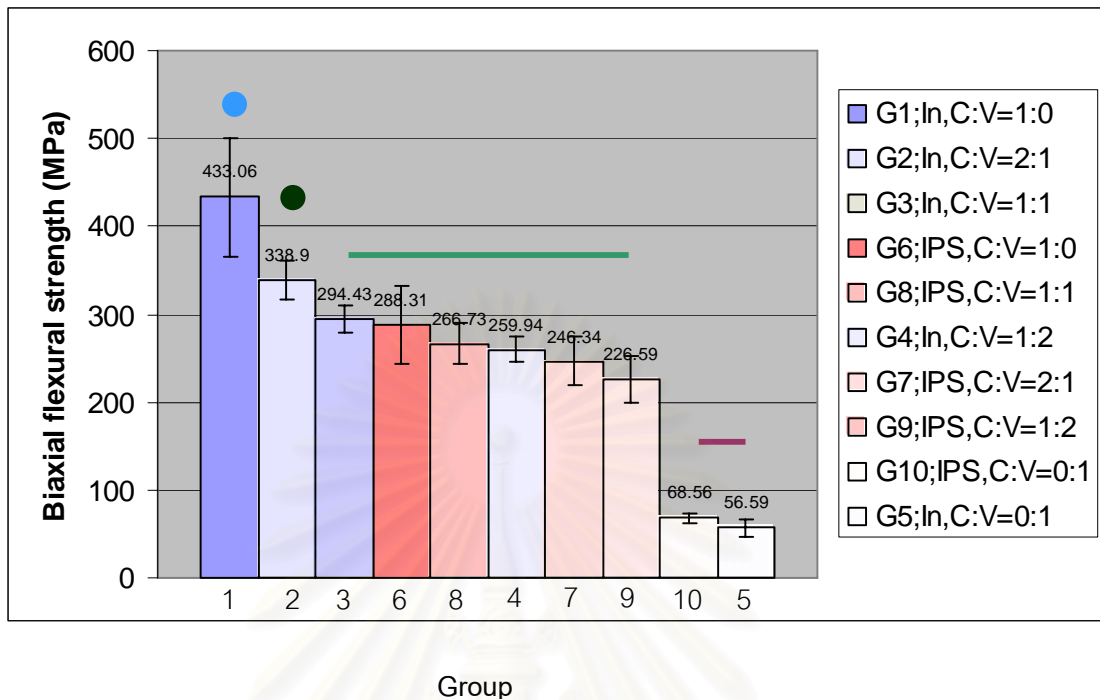
(Tamhane's Test) ซึ่งเป็นการศึกษาทดสอบเปรียบเทียบข้อมูลทีละคู่โดยมีพื้นฐานดั้งเดิมมาจากการเปรียบเทียบแบบ ที-เทสต์ โดยยึดค่าเฉลี่ยของกลุ่มนั้น ๆ เป็นจุดกลางเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของข้อมูลกลุ่มเหลือทั้งหมด แล้วแสดงผลการเปรียบเทียบเป็นตารางซึ่งสามารถบอกค่ากลุ่มนั้นมีความแตกต่างหรือไม่แตกต่างจากกลุ่มใดบ้าง ดังภาคผนวกตาราง ญ-ฎ

เมื่อนำค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมาเรียงลำดับจากมากไปน้อย และลากเส้นต่อเนื่องในกลุ่มค่าเฉลี่ยที่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติผลการวิเคราะห์จะได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงกราฟที่เรียงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนเมื่อเรียงจากมากไปน้อยของ 10 กลุ่มเมื่อวิเคราะห์ two-way ANOVA

แต่จากภาพพบว่าเส้นต่อเนื่อง a, b, c มีการซ้อนทับกันอยู่ของข้อมูลในกลุ่มที่ 2 เนื่องจากการทดสอบการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบ แทมเฮน (Tamhane's Test) ยังมีความบกพร่องเพราะค่าความแปรปรวนไม่เท่ากันทำให้การแบ่งกลุ่มทำได้ไม่ชัดเจน จึงต้องมีการใช้ T- test ทดสอบเพื่อจัดกลุ่มที่ไม่แตกต่างกันให้ชัดเจนยิ่งขึ้น ดังภาคผนวกตาราง ฐ-ถ ซึ่งแสดงผลออกมาดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงการแบ่งกลุ่มหลังการทดสอบด้วย Independent T-test

จากรูปสามารถแบ่งได้เป็น 4 ระดับ ตามความแข็งแรงจากสูงไปต่ำดังนี้

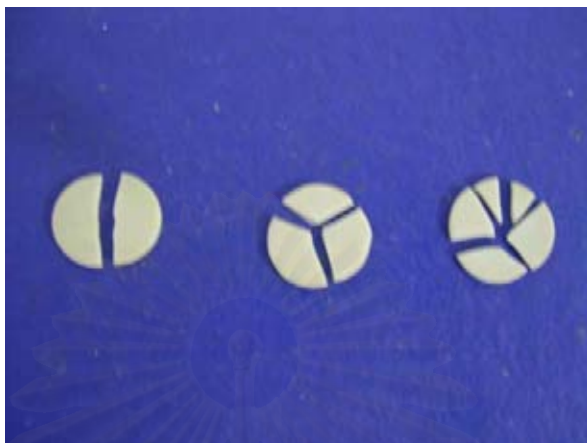
ระดับที่ 1 ● ได้แก่กลุ่ม In-Ceram core ทั้งชิ้น

ระดับที่ 2 ● ได้แก่ กลุ่ม In-Ceram : vitadur = 2:1

ระดับที่ 3 ——— ประกอบด้วย 6 กลุ่ม ได้แก่ In-Ceram: vitadur =1:1, กลุ่ม IPS Empress 2 core ทั้งชิ้น , กลุ่ม In-Ceram : vitadur =1:2, กลุ่ม IPS Empress 2 : IPS Eris =1:1 , IPS Empress 2 : IPS Eris =2:1 , IPS Empress 2 : IPS Eris =1:2

ระดับที่ 4 ——— ได้แก่ วิเนียร์ IPS Eris หน้า 1.2 ทั้งชิ้น และ vitadur alpha หน้า 1.2 ทั้งชิ้น

ตอนที่ 2 ลักษณะของรอยแตกบนชิ้นตัวอย่าง



รูปที่ 15 แสดงลักษณะการแตก

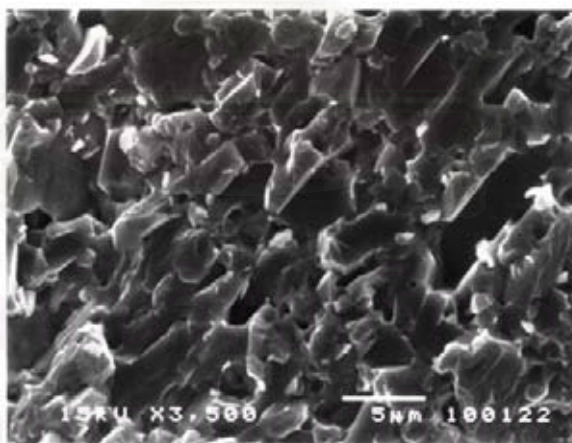
ลักษณะของชิ้นตัวอย่างที่แตกมี 3 ลักษณะคือ แตกออกเป็น 2 ส่วน แตกออกเป็น 3 ส่วน และ แตกมากกว่า 3 ส่วน โดยที่ชิ้นตัวอย่างส่วนใหญ่จะแตกออกเป็น 2 ส่วน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงอัตราการแตกของชิ้นตัวอย่างทั้ง 10 กลุ่ม

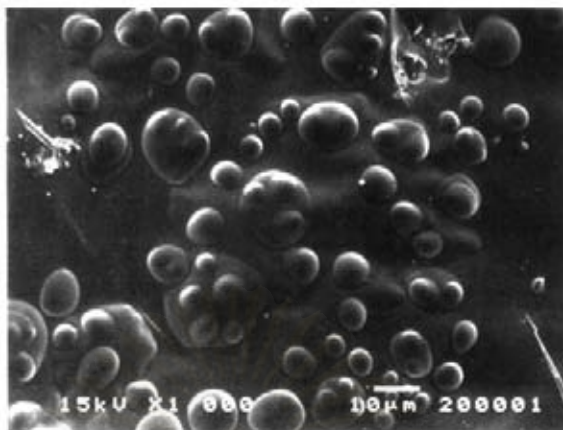
กลุ่ม	อัตราส่วนการแตก		
	2 ชิ้น	3 ชิ้น	> 3 ชิ้น
1	2	6	2
2	7	3	-
3	7	3	-
4	5	5	-
5	8	2	-
6	5	5	-
7	7	3	-
8	5	5	-
9	8	2	-
10	8	2	-

เมื่อนำตรงบริเวณรอยแตกมาตรวจสอบด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ในกลุ่มที่เป็นคอร์หรือวีเนียร์ทั้งชั้น พบว่า ในกลุ่มที่ 1 อินซีแรมมีลักษณะหยาบเป็นผลึกเกาะกันแน่น และมีแนวการแตกตามรูปร่างของผลึกอะลูมินา (รูปที่ 16) ในกลุ่มที่ 5 วีเนียร์ vitadur alpha พบว่ามีลักษณะไม่เรียบมีส่วนของผงอะลูมินาลอยอยู่ในส่วนของเฟลด์สปาร์ติกพอร์ซเลน (รูปที่ 17) ในกลุ่มที่ 6 ที่เป็นไอพีเอสเอมเพรส 2 ทั้งชั้นมีลักษณะหยาบเป็นผลึกลิเทียมไดซิลิเกตเกาะกันแน่น และมีแนวการแตกตามรูปร่างของผลึก (รูปที่ 18) และในกลุ่มที่ 10 ชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนทั้งชั้นของ IPS Eris พบว่ารูพรุนค่อนข้างมาก (รูปที่ 19)

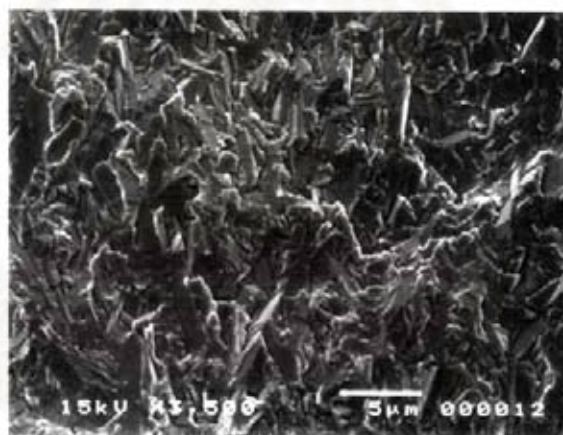
ส่วนในกลุ่มที่เป็นแบบ 2 ชั้น พบว่า ในกลุ่มที่ 2 มีลักษณะ 2 ชั้น ชั้นบนเป็นคอร์มีลักษณะเหมือนในกลุ่มที่ 1 ชั้นล่างเป็นวีเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha มีรูไม่แน่นและแตกแนวเฉียงทแยง แต่มีการแตกระหว่างชั้น (รูปที่ 20) ในกลุ่มที่ 7 มีลักษณะ 2 ชั้น ชั้นบนเป็นคอร์มีลักษณะเหมือนในกลุ่มที่ 6 ชั้นล่างเป็นวีเนียร์พอร์ซเลน มีรูไม่แน่นและแตกแนวเฉียงทแยง แต่ไม่มีการแตกระหว่างชั้น (รูปที่ 21) ในกลุ่มที่ 8 มีชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนหนาขึ้นมีการแตกในชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนกว้างออกเป็นวง แต่ไม่มีการแตกระหว่างชั้นเช่นเดียวกัน (รูปที่ 22) และในกลุ่มที่ 9 มีชั้นวีเนียร์พอร์ซเลนหนาขึ้นและมีการแตกผ่านรูพรุนในเนื้อพอร์ซเลน แต่ไม่มีการแตกระหว่างชั้น (รูปที่ 23)



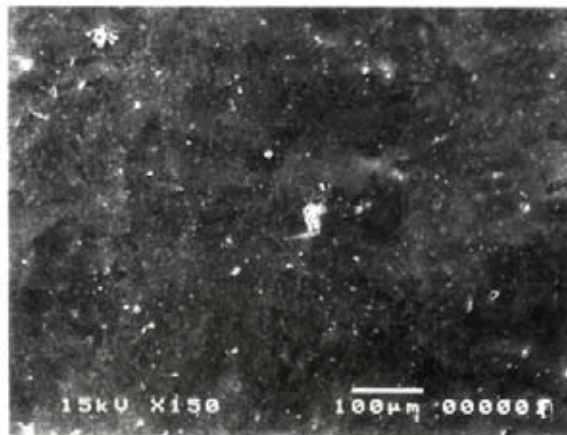
รูปที่ 16 แสดงลักษณะการแตกของชั้นตัวอย่างกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็น อินซีแรม คอร์ทั้งชั้น เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า



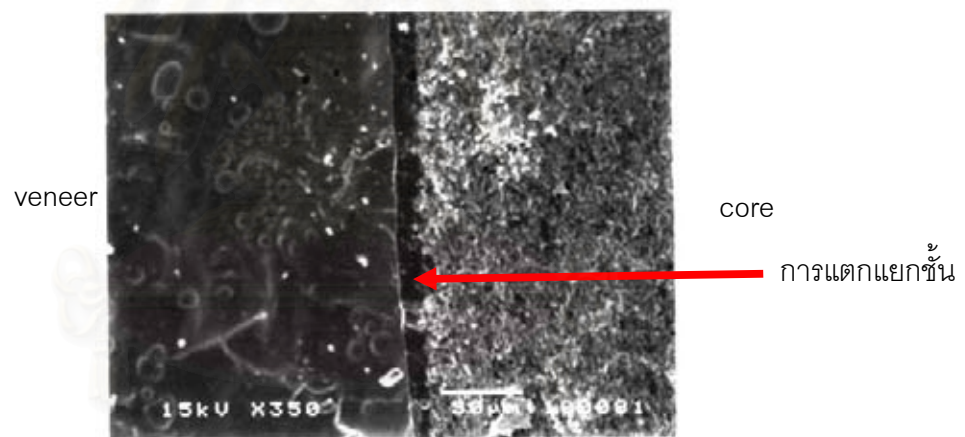
รูปที่ 17 แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 5 ซึ่งเป็นวีเนียร์ vitadur alpha เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า



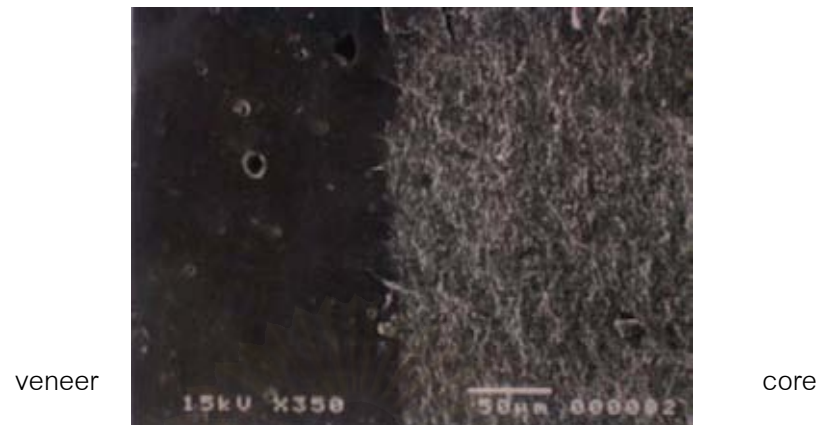
รูปที่ 18 แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 6 ซึ่งเป็น ไอพีสเอมเพรส 2 คอรั เมื่อดูด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 3,500 เท่า



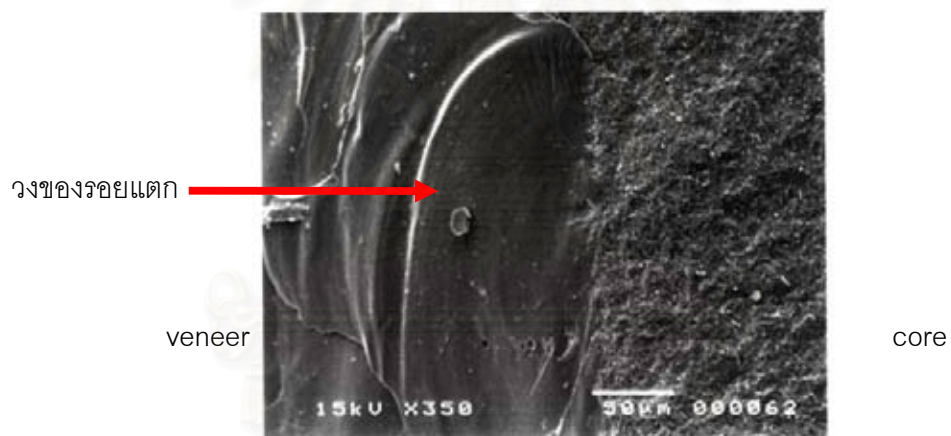
รูปที่ 19 แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 10 ซึ่งเป็น วีเนียร์ IPS Eris
เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 20 แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ซึ่งเป็นกลุ่มอินซีแรม คอร์ หนา 0.8 มม
วีเนียร์ vitadur alpha หนา 0.4 มม เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 350 เท่า

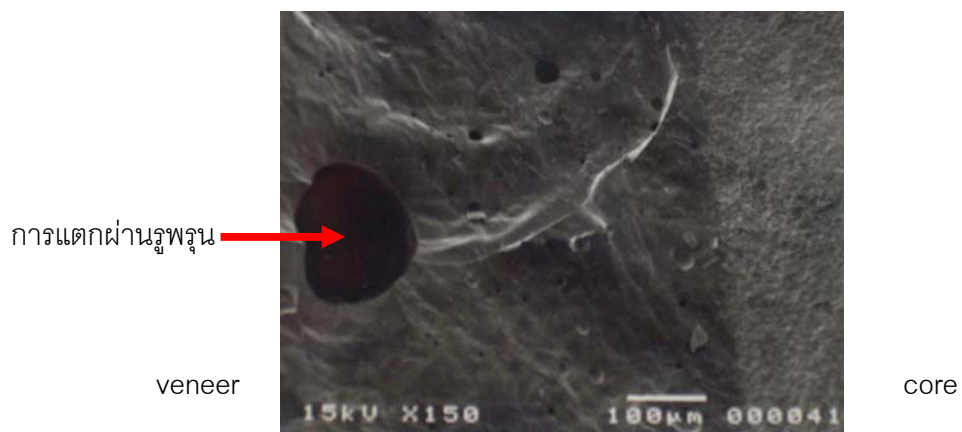


รูปที่ 21 แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 7 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 คอร์หนา 0.8 มม วิเนียร์ IPS Eris 0.4 มม เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 350เท่า



รูปที่ 22 แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 8 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 คอร์หนา 0.6 มม วิเนียร์ IPS Eris 0.6 มม เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 350เท่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 23 แสดงลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างกลุ่มที่ 9 ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 คอร์ทหนา 0.4 มม วีเนียร์ IPS Eris 0.8 มม เมื่อดูด้วย SEM กำลังขยาย 150

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

วิจารณ์วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้ความแข็งแรงดัดขวางสองแกน เป็นตัวเปรียบเทียบความแข็งแรงของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 10 กลุ่ม เนื่องจากค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมีความเหมาะสมที่จะใช้กับวัสดุที่มีความเปราะอย่างเซรามิก อีกทั้งยังให้ข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากกว่าความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียว ในการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกน ส่วนล่างของชิ้นตัวอย่างจะเกิดแรงเค้นดึงและส่วนด้านบนจะเกิดแรงเค้นอัด (compressive stress) เนื่องจากแรงเค้นดึง (tensile stress) จะเกิดมากที่สุดที่บริเวณกึ่งกลางของชิ้นงานที่ถูกกด ความบกพร่องที่ขอบไม่มีผล มีแนวโน้มให้เห็นการแตกแยกชั้นได้ดีกว่า (Thompson, 2000) และมีผลต่อชิ้นงานที่มีรอยพรุนจากการขึ้นรูปน้อยกว่าเมื่อเทียบกับความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียว (Wen และคณะ, 1999; Ohyama และคณะ, 1999; Ban และคณะ, 1990) วิธีการทดสอบความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมีหลายวิธี ได้แก่ วิธี Ring-on ring, Piston-on-ring, Ball-on-ring, Ring-on-ball, Ring-on-spring และ piston-on-three-ball (Ban และคณะ, 1990) เมื่อเปรียบเทียบวิธีการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน พบว่า วิธี piston-on-three-ball ให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนสูงกว่าวิธี Ring-on-ring (Oden และคณะ, 1996)

การทดลองนี้ผู้วิจัยใช้ชิ้นงานเซรามิกล้วนชนิดไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ใช้เป็นส่วนของคอร์ ร่วมกับวีเนียร์ IPS Eris และ อินซีแรมร่วมกับวีเนียร์ vitadur alpha โดยให้ความหนาโดยรวม 1.2 มม. มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. โดยผู้วิจัยได้ใช้แผ่นเหล็กที่ความหนามากกว่าขนาดที่ต้องการ แล้วเจาะแผ่นเหล็กให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางตามขนาดที่ต้องการ การใช้แผ่นเหล็กจะมีความคงทนกว่าการใช้ซิลิโคนซึ่งจะมีการฉีกขาดได้ง่ายทำให้ต้องมีการเตรียมแบบจากซิลิโคนใหม่อยู่บ่อยและป้องกันการบิดเบี้ยวของชิ้นงานได้ดีกว่า และขนาดความหนาของชิ้นงานไม่หนามากกว่าขนาดที่ต้องการมากเกินไป ในการขัดชิ้นงานผู้วิจัยได้ใช้แท่งเหล็กรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม. โดยเจาะรูตรงกลางให้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 มม. และให้มีความลึกเท่ากับความหนาของชิ้นงานที่ต้องการ เช่น ชั้นคอร์หนา 0.6 มม. ความลึกที่จะเจาะแท่งเหล็กคือ 0.6 มม. เนื่องจากชิ้นงานบางมาก การขัดที่เครื่องขัดกระดาษทรายด้วยไฟฟ้าไม่สามารถทำได้เพราะไม่มีอุปกรณ์จับอีกทั้งต้องคอยนำออกมาวัดความหนาบ่อยๆ การขัดโดยใช้มือเปล่าสามารถทำให้

ชิ้นงานไม่ได้ระนาบที่ดี แต่การใช้แท่งเหล็กดังกล่าวสามารถทำให้ชิ้นงานได้ระนาบ สามารถถอดชิ้นงานออกมาวัดได้ทุกเมื่อ

จากการทดลองของ White (1994) ได้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียวของเซรามิกสองชั้นโดยลองสลัดเอาส่วนคอร์ไว้ด้านบนบนเทียบกับการเอาส่วนคอร์ไว้ด้านล่างพบว่า กลุ่มที่คอร์อยู่ด้านล่างได้ต่อวีเนียร์พอร์ซเลนนั้นจะให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางแกนเดียวมากกว่า เช่นเดียวกับการศึกษาของ Guazzato และคณะ (2004) ที่พบว่าค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนนั้นได้รับผลจากคุณสมบัติของวัสดุที่อยู่ชั้นล่างมากกว่า นอกจากนี้ยังได้แสดงผลให้เห็นจากวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (finite element) ว่า ถ้าคอร์อยู่ด้านล่างและวีเนียร์พอร์ซเลนอยู่ด้านบนจะมีการกระจายแรงเป็นลักษณะเดียวด้วยแรงเค้นอัดบนผิววีเนียร์ภายใต้แรงกด ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้ชั้นคอร์อยู่ด้านล่างได้ต่อชั้นวีเนียร์โดยให้ชั้นวีเนียร์รับแรงกดด้านบน

อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการทดลองหากเปรียบเทียบในแง่ความแข็งแรงของวัสดุแต่ละชนิด พบว่า คอร์ของอินซีแรมมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกน (433.06 ± 68.37 MPa) มากกว่าคอร์ของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 (288.31 ± 44.64 MPa) ประมาณ 1.5 เท่า ส่วนวีเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris (68.56 ± 5.52 MPa) กับ วีเนียร์พอร์ซเลน Vitadur alpha (56.59 ± 10.54 MPa) มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบการใช้งานภายในแต่ละระบบ คอร์ของอินซีแรมมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากกว่าวีเนียร์พอร์ซเลน vitadur alpha ประมาณ 8 เท่า ในขณะที่คอร์ของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนมากกว่าวีเนียร์พอร์ซเลน IPS Eris ประมาณ 4 เท่า ในแง่ของความแตกต่างของค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น ส่วนของคอร์และวีเนียร์ของอินซีแรมจะมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น แตกต่างกันมากประมาณ 4 เท่า ในขณะที่ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีความแตกต่างกันเพียงประมาณ 1.4 เท่า

จากผลการทดลอง พบว่าในกลุ่มที่ 1 อินซีแรมที่เป็นคอร์ทั้งชิ้น มีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนสูงที่สุดซึ่งสูงกว่าแบบที่ประกอบด้วยคอร์และวีเนียร์ แต่ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ทั้งชิ้นมีค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนใกล้เคียงกับแบบที่ประกอบด้วยคอร์และวีเนียร์ แสดงว่าการใส่วีเนียร์พอร์ซเลนในอินซีแรมมีผลทำให้ความแข็งแรงของอินซีแรมนั้นลดลง แต่ในขณะที่ไอพีเอสเอ็มเพรส 2 นั้นแทบจะไม่มีผล ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ Ohyama และคณะ ในปี 1999 ถ้าแยกวิเคราะห์เฉพาะกลุ่มของอินซีแรมนั้นพบว่าเมื่ออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ลดลง ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนก็ลดลงไปด้วย แสดงว่า

ความหนาของส่วนคอร์น่าจะมีบทบาทสำคัญต่อค่าความแข็งแรงของอินซีเรม ในขณะที่กลุ่มของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 นั้นความหนาของคอร์ไม่มีผลต่อความแข็งแรงมากนัก

Wakabayashi และ Anusavice ในปี ค.ศ. 2000 พบว่า ความแข็งแรงของการใช้วัสดุเซรามิก 2 ชนิดร่วมกันในทางคลินิก ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ความหนาของเซรามิกแต่ละชั้น คุณสมบัติของเซรามิก ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น (elastic modulus) ของวัสดุรองรับเช่น เนื้อฟัน ขนาดและความถี่ของแรงที่ใช้กด ขนาดและตำแหน่งของจุดสัมผัสด้านบดเคี้ยว แรงเครียดที่เหลือค้างของวัสดุหลังจากขบวนการขึ้นรูป ความบกพร่องระหว่างชั้นของวัสดุบูรณะและชั้นซีเมนต์ และสุดท้ายคือ สภาพอะในช่องปากเช่น น้ำลาย แต่การสร้างให้เกิดความแข็งแรงของวัสดุบูรณะที่เป็นการใช้เซรามิกสองชนิดร่วมกัน นอกจากจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของเซรามิกแต่ละชนิดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับความเข้ากันได้ของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยซึ่งได้แก่คุณสมบัติเชิงกล เช่น ค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่น ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อน และการยึดติดกันของวัสดุ เป็นต้น ซึ่งขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของเซรามิกทั้งสองชนิด ถ้าเป็นเซรามิกชนิดเดียวกันหรือใกล้เคียงกันก็จะเกิดการยึดติดกันได้ดีในขณะที่ทำการเผาขึ้นรูปเพื่อให้เกิดแรงยึดทางเคมีซึ่งมีความเสถียรมากกว่า หรือหากเซรามิกมีความแตกต่างกันก็อาจใช้วิธีปรับสภาพผิวเพื่อให้เกิดการยึดติดเชิงกล เช่น การเป่าทรายเพื่อให้เกิดสภาพผิวที่ขรุขระ

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้คอร์และวีเนียร์ฟอร์ชเลนที่มีความแข็งแรงแตกต่างกันมาก ความหนาของชั้นที่มีความแข็งแรงสูงจะมีผลต่อค่าความแข็งแรงโดยรวม ดังจะเห็นได้จากการที่อินซีเรมมีอัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ลดลงค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนก็ลดลงไปด้วย แต่ในไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ซึ่งมีความแตกต่างกันของความแข็งแรงของวัสดุน้อยกว่าพบว่าเมื่อความหนาของคอร์ลดลงแทบจะไม่มีผล ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า วัสดุคอร์และวีเนียร์มีความเข้ากันได้ดีเนื่องจากมีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นไม่แตกต่างกันมากทำให้มีการส่งผ่านและกระจายแรงได้ดีในเซรามิกทั้งชั้นจึงส่งผลทำให้มีความแข็งแรงโดยรวมใกล้เคียงกันทั้งที่ความหนาของคอร์แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้จากผลการทดลองจาก SEM ซึ่งบ่งให้เห็นได้ชัดว่า พบการแตกแยกชั้นของอินซีเรมเป็นส่วนใหญ่ ในขณะที่ไม่พบการแตกลักษณะนี้ในไอพีเอสเอ็มเพรส 2 เลย ผลการทดลองสามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งพบการสะสมความเค้นที่บริเวณรอยต่อ (interface) ของวัสดุที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งจะเกิดการแตกจากชั้นวีเนียร์ฟอร์ชเลน (Guazzato , 2004) ที่เป็นเช่นนี้เพราะค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเมื่อร้อนของอินซีเรมแตกต่างจากของวีเนียร์ vitadur alpha มาก ทำให้เกิดแรงเค้นอัดตกค้างทำให้เกิดการแตกแยกชั้นได้มากกว่าไอพีเอสเอ็มเพรส 2 กับวีเนียร์ IPS Eris นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นยิ่งถ้ามีความแตกต่างกันมากระหว่างวัสดุสองชนิดยิ่งทำให้มีแนวโน้มจะทำให้เกิดการแตกแยกชั้นกันมากขึ้น คล้ายกับการศึกษาของ Smith และคณะ ในปี ค.ศ.1994

เนื่องจากวีเนียร์ vitadur alpha และ อินซีแรม มีค่ามอดูลัสสภาพยืดหยุ่นแตกต่างกันมาก (Cattell และคณะ, 2002) Al-Dohan และคณะ ในปี 2004 ได้ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงเฉือนของระหว่างชั้นคอร์กับวีเนียร์ในเซรามิกแบบ 2 ชั้น พบว่าไอพีเอสเอมเพรส 2 กับวีเนียร์ IPS Eris มีค่าความแข็งแรงเฉือนมากกว่าเซรามิกชนิดอื่น

จากผลการทดลองพบว่าในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเป็นอินซีแรมทั้งชั้น มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดัดขวางสูงที่สุดและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมาก และจากการดูลักษณะการแตกพบว่ามีการแตกออกเป็น 5 ส่วนน่าจะเป็นเพราะมีการแตกผ่านรูพรุนหลายอันที่เกิดขึ้นภายในชั้นตัวอย่าง (internal porous) ซึ่งรูพรุนเหล่านี้มีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการขึ้นตอนและขบวนการขึ้นรูปของอินซีแรมมีความยุ่งยากและซับซ้อนทั้งขบวนการขึ้นรูป ขบวนการเผา และปริมาณแก้วที่ใส่เข้าไป จึงมีความผิดพลาดต่างๆ เกิดขึ้นได้ง่าย ทำให้ไม่สามารถทำขึ้นตัวอย่างทุกชิ้นได้เหมือนกัน ซึ่งปัจจัยเหล่านี้นอกจากจะมีผลต่อค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนแล้ว ยังมีผลต่อสีของเซรามิกอีกด้วย ซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า

ในแง่ของการนำไปใช้งานนั้นไอพีเอสเอมเพรส 2 นั้นจะมีความสวยงามใกล้เคียงฟันธรรมชาติ มากกว่าอินซีแรมเพราะมีความโปร่งแสงมากกว่า และพบว่าหากใช้คอร์ของออลเซรามิกที่มีความหนาจะทำให้ครอบฟันนั้นมีความทึบแสงมากขึ้น (Hefferman และคณะ, 2002) เป็นที่น่าสังเกตว่าอัตราส่วนของคอร์ต่อวีเนียร์ของไอพีเอสเอมเพรส 2 ที่น่าใช้ก็คืออัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์ ที่ 1:2 เพราะมีความแข็งแรงไม่แตกต่างจากกลุ่มที่ 6 ที่เป็นคอร์ทั้งชั้น ซึ่งยังให้ความสวยงามจากวีเนียร์พอรับใช้ได้ แต่ถ้าบริเวณฟันหลังที่ต้องการความแข็งแรงและต้องการความสวยงามด้วยอาจต้องใช้อินซีแรม 2:1 ซึ่งน่าจะได้ทั้งความแข็งแรงและความสวยงาม Guazzato และคณะ (2004) กล่าวว่าหากคำนึงแต่ในแง่ความแข็งแรงบางครั้งอาจไม่จำเป็นต้องเคลือบด้วยชั้นวีเนียร์ เพราะการเคลือบด้วยชั้นวีเนียร์กับวัสดุชั้นคอร์ที่มีความแข็งแรงมาก ๆ เช่นอินซีแรมจะทำให้ค่าความแข็งแรงของครอบฟันนั้นลดลง ยกเว้นบริเวณที่ต้องการความสวยงามอาจหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตามการกล่าวเช่นนี้อาจใช้ได้กับบริเวณส่วนเชื่อมต่อ (connector) ของสะพานฟัน หรือบริเวณด้านลิ้นของเคลือบฟันหน้า เป็นต้น

การนำไปใช้งานนอกจากคำนึงถึงค่าความแข็งแรงของเซรามิกแล้ว ยังต้องคำนึงถึงความสามารถในการยึดติดกับฟัน เนื่องจากไอพีเอสเอมเพรส 2 มีซิลิกาเป็นองค์ประกอบภายในปริมาณ 57-80% ซึ่งสูงกว่าอินซีแรมที่มีอะลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นการเตรียมพื้นผิวก่อนการยึดติดจึงแตกต่างกัน โดยไอพีเอสเอมเพรส 2 ผ่านการเป่าด้วยอนุภาคแก้วขนาด 90 ไมครอนเมตรและการปรับสภาพผิวด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกความเข้มข้น 4.5% โดยฟลูออไรต์ไปจับซิลิกาแล้วเปลี่ยนเป็นเฮกซะฟลูออโรซิลิเกต

เมื่อผ่านการล้างด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเฮกซะฟลูออโรซิลิเกตมักหลุดออกมาเกิดเป็นช่องว่างอันเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มการยึดติดทางกล จากนั้นทาสารค้ำโครงเคลือบไฮดรอกซีฟอสเฟตเพื่อการยึดติดทางเคมี โดยหมู่ไฮดรอกซิลจากส่วนของสารค้ำโครงเคลือบไฮดรอกซีฟอสเฟตสามารถเกิดพันธะไฮดรอกซีกับผิวของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 เมื่อเปรียบเทียบกับอินซีแรมซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นอะลูมินา มีซิลิกาในองค์ประกอบเพียง 5% จึงไม่สามารถใช้กรดไฮโดรฟลูออริกปรับสภาพพื้นผิวได้ รวมทั้งการทาสารค้ำโครงเคลือบไฮดรอกซีฟอสเฟตไม่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการยึดติด การยึดติดของอินซีแรมจึงเกิดขึ้นน้อยมาก ส่วนมากเป็นการเพิ่มความสามารถในการยึดทำได้โดยการเป่าด้วยอนุภาคอะลูมินาขนาด 50-110 ไมครอนขึ้นไป เพราะผิวของอินซีแรมมีความขรุขระได้จึงต้องใช้อนุภาคอะลูมินาที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ในการเลือกใช้วัสดุอุดอลเซรามิกนอกจากจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของเซรามิก ความสามารถในการยึดกับเนื้อฟันแล้ว ยังอาจต้องคำนึงถึงความแนบสนิท อัตราการสึก ความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อในช่องปาก และสภาพเนื้อฟันที่เหลืออยู่ (Heffernan และคณะ, 2002)

สรุปผลการวิจัย

จากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า

1. อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกัน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของอินซีแรมมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .05$)
2. อัตราส่วนคอร์ต่อวีเนียร์แตกต่างกัน (ยกเว้นกลุ่ม veneer อย่างเดียว) มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p < .05$)
3. ความแข็งแรงโดยรวมของเซรามิกที่เข้าร่วมกันระหว่างวัสดุคอร์และวีเนียร์ขึ้นอยู่กับทั้งชนิดของเซรามิกและอัตราส่วนของคอร์และวีเนียร์

เซรามิกที่มีความแตกต่างกันของวัสดุคอร์และวีเนียร์ ค่าความแข็งแรงดัดขวางสองแกนจะขึ้นกับความแข็งแรงของชั้นคอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- ชัยพร อัญชูลีพร และ ถนอมศุก เจียรนัยไพศาล ความแข็งแรงดัดขวางสองแกนของไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ในภาวะความหนาโครงสร้างชั้นต่างๆ รายงานวิชาโครงการวิจัยทางทันตกรรม หลักสูตรปริญญา ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์ คณะทันตแพทยศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- Al- Dohan, H. M., Yaman, P., Dennison, J. B., Razzoog, M. E., and Lang, B. R. Shear strength of core-veneer interface in bi-layered ceramics. J Prosth Dent 91 (4) (2004): 349-355.
- Al- Shehri, S. A. ,Mohammed, H., and Wilson, C. A. Influence of lamination on the flexural strength of a dental castable glass ceramic. J Prosth Dent 76 (1996) : 23-28.
- Anusavice, K. J., and Hojjatie, B. Effect of thermal tempering on strength and crack propagation behavior of feldspathic porcelain. J Dent Res 70 (1991): 1009-1013.
- Anusavice, K. J. Recent developments in restorative dental ceramics. JADA 124 (1993): 72-84.
- Anusavice, K. J. Philips science of dental materials. 10 th ed. Philadephia : W.B.Sauder Company, 1996: 583-618.
- Arbakry, M., Guazzato, M., and Swain, M. V. Biaxial flexural strength, elastic moduli, and x-ray diffraction characterization of three pressable all- ceramic material. J Prosth Dent 89 (2003): 374-380.
- Ban, S., and Anusavice, K. J. Influence of test method on failure stress of brittle dental materials. J Dent Res 69 (1990): 1791-1799.
- Binns, D. The chemical and physical properties of dental porcelain. In J.W. Mclean editor. Dental ceramics : proceeding of the first international symposium on ceramics. Chicago : Quintessence. (1993): 41-82.
- Cattell, M. J., Palumbo, R. P., and Knowles, J. C. The effect of veneering and heat treatment on the flexural strength of Empress 2 ceramics. J Dent 30 (2002): 161-169.
- Denry, I. R., Rosenstiel, S. F., Holloway, J. A., and Niemiec, M. S. Enhanced chemical strengthening of feldspathic dental porcelain. J Dent Res 72 (1993): 1429-1433.

- Denry, I. R., Rosenstiel, S. F., and Holloway, J. A. Characterization of crystalline leucite in feldspathic dental porcelains. J Dent Res 73 (1994): 369.
- Denry, I. L., Mackert, J.R., Holloway, J. A., and Rosenstiel, S. F. Effect of cubic leucite stabilization on the flexural strength of feldspathic dental porcelain. J Dent Res 75 (1996) : 1928-1935.
- Dong, J. K., Luthy, H., Wohlwend, A and Scharer, P. Heat- pressed ceramics : Technology and strength. Int J Prosthodont 5 (1992): 9-16.
- Fairhurst, C. W., Lockwood, P. E., Ringle, R. D., and Thompson, W. O. The effect of glaze on porcelain strength. Dent Mater 8 (1992) :203-207.
- Fairhurst, C. W., Lockwood, P. E., Ringle, R. D., and Twigg, S. W. Dynamic fatigue of feldspathic porcelain. Dent Mater 9 (1993): 269-273.
- Giordano, R . A., Cima, M., and Prober, R. Effect of surface finishing on the flexural strength of feldspathic and aluminous dental ceramics. Int J Prosthodont 5 (1995): 311-319.
- Giordano, R. A. Dental ceramic restorative systems. Compend Contin Educ Dent 17 (1996): 779-794.
- Guazzato, M., Proos, K., Sara, G., Swain, M. V. Strength, reliability, and mode of fracture of bilayered porcelain/core ceramics. Int J Prosthodont 17 (2004): 142-149.
- Heffernan, M. J., Aquillino, S. A., Diaz- Arnold, A. M., Haselton, D. R., Stanford, C. M., and Vassgas, M. A. Relative translucency of six all-ceramic systems. Part I: Core materials. J Prosth Dent 88 (2002): 4-9.
- Holloway, J. A., Denry, I. R., and Rosenstiel, S. Surface layer characterization after dual ion exchange of a leucite – reinforced dental porcelain. Int J Prosthodont 10 (1997): 136-141.
- Kanchanatawewat, K., Giordano, I. L. R. A., Pober, R. L., and Nathason, D. Evaluation flexural strength of materials for all-ceramic restorations. C.U Dent J 20 (1997) : 1-8.
- Kosmac, T., Oplak, C., Jevnikar, P., Funduk, N., and Marion, L. The effect of surface grinding and sandblasting on flexural strength and reliability of Y-TZP zirconia ceramic. Dent Mater 15 (1999): 426-433.

- Mackert, J. R. Jr., and Russell, C. M. Leucite crystallization during processing. J Dent Res 74 (1996): 166.
- Manufacturer of IPS Empress 2. Ivoclar, Schann, Liechtenstein. (n. d.)
- McLean, J. W., and Hughes, T. H. The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. Br Dent J 119 (1965): 251-267.
- Myer, M. L., Ergle, J. W., Fairhurst, C. W., and Ringle, R. D. Fatigue failure parameters of IPS Empress porcelain. Int J Prosthodont 7 (1994): 549-533.
- Nakazato, T., Takahashi, H., Yamamoto, M., Nishimura, F., and Kurosaki, N. Effect of polishing on cyclic fatigue strength of CAD/CAM ceramics. Dent Mater 18 (1999): 395-402.
- Oden, A. and Rowcliffe, D., and Zeng, K. Flexural test on dental ceramics. Int J Prosthodont 9 (1996): 434-439.
- Oh, S. C., Dong, J. K., Luthy, H., and Scharer, P. Strength and microstructure of IPS Empress 2 glass-ceramic after different treatment. Int J Prosthodont 13 (2000) : 468-472.
- Ohyama, T., Yoshinari, M., and Oda, Y. Effect of cyclic loading on the strength of all ceramic materials. Int J Prosthodont 12 (1999): 28 -37.
- Piddock, V., Qualtrough, A. J., and Slevin, A., and Fernandes, J. C. Lithium ion strengthening of dental porcelain. Int J Prosthodont 8 (1995): 280-284.
- Prober, R. L., Giordano, R. A., Campbell, S. D., and Pelletier, L. B. Compositional analysis of In-Ceram infusion glass. J Dent Res 71 (1992): 253.
- Probster, L., and Diehl, L. Slip casting alumina ceramic for crown and bridge restoration. Quintessence Int 23 (1992): 25-31.
- Rosenblum, M. A., and Schulman, A. A review of all-ceramic restorations. JADA 128 (1997): 279-309.
- Rosenstiel, S. F., Gupta, P. K., Van der Sluys, R. A., and Zimmerman, M. H. Strength of a dental glass- ceramic after surface coating. Dent Mater 9 (1993): 247-249.

- Schweiger, M., Holand, W., and Frank, M. IPS Empress 2 : A new pressable high- strength glass- ceramic for esthetic all- ceramic restoration. Quintessence Dent Tech 22 (1999): 143-151.
- Scotti, R., Catapano, S., and D ' Elia, A. A clinical evaluation of In-Ceram crowns. Int J Prosthodont 8 (1995): 320-323.
- Seghi, R. R., Daher, T., and Caputo, A. Relative flexural strength of dental restorative ceramics. Dent mater 6 (1990): 181-184.
- Seghi, R. R., and Sorensen, J. A. Relative flexural strength of six new ceramic materials. Int J Prosthodont 8 (1995): 239-246.
- Smith, T. B., Kelly, J. R., and Tesk, J. A. In vitro fracture behavior of ceramic and metal-ceramic restorations. J Prosthodont 3 (1994): 138-144.
- Sorensen, J. A., Knode, H., and Torres T. J. In-Ceram all ceramic bridge technology. Quintessence Dent Tech (1992): 41-46.
- Sorensen, J. A., Cruz, M., Mito, W.T., Raffener, O., Meredith, H. R., Foser, H. P. A clinical investigation on three-unit fixed partial dentures fabricated with a lithium disilicate glass-ceramic. Pract Periodontics Aesthet Dent 11(1) (1999): 95-106.
- The international organization for Standardization. Dental ceramic. International standard ISO 6872 2 nd ed. Switzerland : Case Postale 56, 1995: 6-8.
- Thompson, G. A. Influence of relative layer height and testing method on the failure mode and origin in a bilayered dental ceramic composite. Dent Mater 16 (2000): 235-243.
- Thompson, J. Y., and Anusavice, K. J. Effect of surface etching on the flexure strength and Fracture toughness of Dicor disks coating controlled flaws. J Dent Res 10 (1994): 1015-1025.
- Van Noort, R. 1994. Introduction of dental materials (London : Mosby) (1994): 201-214.
- Wagner, W.C., and Chu, T. M. Biaxial flexural strength and indentation fracture toughness of three new dental core ceramics. J Prosthet Dent 76 (1996): 140-144.
- Wakabayashi, N., and Anusavice, K. J. Crack initiation modes in bilayered alumina/porcelain disks as a function of core/veneer thickness ratio and supporting substrate stiffness. J Dent Res 79 (6) (2000): 1398-1404.

Wen, M.Y., Mueller, H. J., Chai, J., and Wonzniak, W. T. Comparative mechanical property characterization of 3 all- ceramic core materials. Int J Prosthodont 12 (1999): 534-541.

White, S. N., Caputo, A. A, Vidjak, F. M., and Seghi, R. R. Moduli of rupture of layered dental ceramics. Dent Mater 10 (1994): 52-58.

Zeng, K., Oden, A., and Rowcliffe, D. Evaluation of mechanical properties of dental ceramic core materials in combination with porcelains. Int J Prosthodont 11 (1998): 183-189.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ชื่อวัสดุ	Material	องค์ประกอบ	บริษัทผู้ผลิต
1. In-Ceram	Aluminous porcelain	Al_2O_3 70 %, LaAl_2O_3 30 %	Vita Zahnfabrik,BadSackingen, Germany
2. IPS – Empress2	Lithium disilicate& Lithium orthophosphate glass	SiO_2 45-70%, Al_2O_3 22%, P_2O_5 0.5 – 6.5%, K_2O 3-9%, Na_2O 4 %, CaO 1-11 %, F 0.1-2.5 %	Vivadent , Schaan , Liechtenstein
3. Vitadur alpha	Feldspartic porcelain	Al_2O_3 10 %, ,	Vita Zahnfabrik,BadSackingen, Germany
4. IPS Eris	Silica oxide	SiO_2 60.0-72.0 %, , K_2O 10.0-23.0 %, , ZnO 8.5-20.0%, , Al_2O_3 2.0-8.0 %, , CaO 1.0-10.5 %, Li_2O 1.0-5.0 %, P_2O_5 0.5- 6.0%, F 0.1-1.0 %, ,	Vivadent , Schaan, Liechtenstein

ตาราง ข แสดงอุณหภูมิการเผา In-Ceram

อุณหภูมิเริ่มต้น	120 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง
เผาต่อ	1120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น 2 ชั่วโมง

ตาราง ค แสดงอุณหภูมิการเผาชั้นวีเนียร์ (vitadur alpha)

อุณหภูมิเริ่มต้น	600 °C เป็นเวลา 6 นาที
เผาต่อ	6 นาที จนถึง 950 °C ทิ้งไว้ให้เย็น 1 นาที

ตาราง ง แสดงอุณหภูมิการเผาไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ในขบวนการ lost –wax technique

อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 5°C ต่อ นาทีจนถึง 250 °C	คงที่ 30 นาที
เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 850 °C	คงที่ 60 นาที

ตาราง จ แสดงอุณหภูมิการเผาไอพีเอสเอ็มเพรส 2 ในขบวนการ heat pressing

อุณหภูมิเริ่มต้น	700°C
อุณหภูมิหลอม Ingot	920°C ทิ้งไว้ 20 นาที

หมายเหตุ แรงดันขณะ pressing 5 bar

ตาราง ฉ แสดงอุณหภูมิการเผาชั้นวีเนียร์ฟอร์ชเลน (IPS Eris)

อุณหภูมิเริ่มต้น	403°C เป็นเวลา 6 นาที
อัตราการเพิ่มอุณหภูมิเผา	60°C/นาที
อุณหภูมิเผา	755°C ทิ้งไว้ 2 นาที

ตาราง ๕ การทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮน ของกลุ่มที่ 1- กลุ่มที่ 5

Multiple Comparisons

Dependent Variable: BFS
Tamhane

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	94.1535(*)	22.76715	.017	14.7343	173.5726
	3.00	138.6249(*)	22.14761	.001	59.3705	217.8793
	4.00	173.1151(*)	22.10344	.000	93.8571	252.3730
	5.00	376.4637(*)	21.87572	.000	297.1510	455.7764
2.00	1.00	-94.1535(*)	22.76715	.017	-173.5726	-14.7343
	3.00	44.4714(*)	8.60048	.001	16.5332	72.4097
	4.00	78.9616(*)	8.48608	.000	51.2824	106.6408
	5.00	282.3102(*)	7.87391	.000	255.7471	308.8733
3.00	1.00	-138.6249(*)	22.14761	.001	-217.8793	-59.3705
	2.00	-44.4714(*)	8.60048	.001	-72.4097	-16.5332
	4.00	34.4902(*)	6.64735	.001	13.3053	55.6750
	5.00	237.8388(*)	5.84570	.000	218.8984	256.7791
4.00	1.00	-173.1151(*)	22.10344	.000	-252.3730	-93.8571
	2.00	-78.9616(*)	8.48608	.000	-106.6408	-51.2824
	3.00	-34.4902(*)	6.64735	.001	-55.6750	-13.3053
	5.00	203.3486(*)	5.67605	.000	185.0237	221.6735
5.00	1.00	-376.4637(*)	21.87572	.000	-455.7764	-297.1510
	2.00	-282.3102(*)	7.87391	.000	-308.8733	-255.7471
	3.00	-237.8388(*)	5.84570	.000	-256.7791	-218.8984
	4.00	-203.3486(*)	5.67605	.000	-221.6735	-185.0237

* The mean difference is significant at the .05 level.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๕ การทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮน ของกลุ่มที่ 6- กลุ่มที่ 10

Multiple Comparisons

Dependent Variable: BFS
Tamhane

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
6.00	7.00	41.9718	16.68948	.213	-12.5734	96.5170
	8.00	21.5778	15.91172	.889	-31.4797	74.6353
	9.00	61.7169(*)	16.39484	.019	7.7812	115.6527
	10.00	219.7545(*)	14.22293	.000	167.9476	271.5615
7.00	6.00	-41.9718	16.68948	.213	-96.5170	12.5734
	8.00	-20.3940	11.54257	.631	-57.3519	16.5639
	9.00	19.7451	12.19995	.731	-19.1481	58.6383
	10.00	177.7828(*)	9.07413	.000	145.1350	210.4305
8.00	6.00	-21.5778	15.91172	.889	-74.6353	31.4797
	7.00	20.3940	11.54257	.631	-16.5639	57.3519
	9.00	40.1391(*)	11.11228	.020	4.6570	75.6213
	10.00	198.1768(*)	7.54877	.000	171.2554	225.0982
9.00	6.00	-61.7169(*)	16.39484	.019	-115.6527	-7.7812
	7.00	-19.7451	12.19995	.731	-58.6383	19.1481
	8.00	-40.1391(*)	11.11228	.020	-75.6213	-4.6570
	10.00	158.0376(*)	8.52008	.000	127.4659	188.6094
10.00	6.00	-219.7545(*)	14.22293	.000	-271.5615	-167.9476
	7.00	-177.7828(*)	9.07413	.000	-210.4305	-145.1350
	8.00	-198.1768(*)	7.54877	.000	-225.0982	-171.2554
	9.00	-158.0376(*)	8.52008	.000	-188.6094	-127.4659

* The mean difference is significant at the .05 level.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ฅ แสดง Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BFS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1158356.975	9	128706.331	128.395	.000
Intercept	6107570.613	1	6107570.613	6092.796	.000
RATIO	998080.113	4	249520.028	248.916	.000
TYPE	86721.881	1	86721.881	86.512	.000
RATIO * TYPE	73554.980	4	18388.745	18.344	.000
Error	90218.245	90	1002.425		
Total	7356145.833	100			
Corrected Total	1248575.219	99			

a R Squared = .928 (Adjusted R Squared = .921)

ตาราง ฆ แสดงการวิเคราะห์การแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นแบบปกติหรือไม่

Tests of Normality

	GROUP	Kolmogorov-Smirnov(a)			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
BFS	1	.217	10	.200(*)	.888	10	.159
	2	.230	10	.144	.914	10	.307
	3	.133	10	.200(*)	.970	10	.894
	4	.132	10	.200(*)	.974	10	.926
	5	.189	10	.200(*)	.929	10	.434
	6	.219	10	.192	.897	10	.205
	7	.130	10	.200(*)	.946	10	.624
	8	.177	10	.200(*)	.942	10	.577
	9	.180	10	.200(*)	.896	10	.199
	10	.118	10	.200(*)	.962	10	.806

* This is a lower bound of the true significance.

a Lilliefors Significance Correction

ตาราง ง แสดงการทดสอบแบบลิแวน

Test of Homogeneity of Variances

BFS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
12.066	9	90	.000

ตาราง ฎ การทดสอบด้วยการเปรียบเทียบเชิงซ้อนแบบแทมเฮน ของกลุ่ม1- กลุ่ม10

Multiple Comparisons

Dependent Variable: BFS
Tamhane

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	94.1535	22.76715	.073	-5.2606	193.5675
	3	138.6249(*)	22.14761	.004	38.4971	238.7527
	4	173.1151(*)	22.10344	.001	72.9083	273.3218
	5	376.4637(*)	21.87572	.000	275.7828	477.1446
	6	144.7444(*)	25.82036	.002	41.9751	247.5138
	7	186.7162(*)	23.38245	.000	87.4021	286.0303
	8	166.3222(*)	22.83382	.001	66.9456	265.6989
	9	206.4614(*)	23.17307	.000	107.1723	305.7504
	10	364.4990(*)	21.69083	.000	263.3441	465.6539
	2	1	-94.1535	22.76715	.073	-193.5675
3		44.4714(*)	8.60048	.004	10.3692	78.5737
4		78.9616(*)	8.48608	.000	45.1278	112.7954
5		282.3102(*)	7.87391	.000	249.4542	315.1662
6		50.5910	15.81590	.264	-14.6494	115.8314
7		92.5628(*)	11.41011	.000	48.0980	137.0276
8		72.1688(*)	10.23888	.000	32.6082	111.7293
9		112.3079(*)	10.97463	.000	69.7249	154.8909
10		270.3455(*)	7.34463	.000	237.3652	303.3259
3		1	-138.6249(*)	22.14761	.004	-238.7527
	2	-44.4714(*)	8.60048	.004	-78.5737	-10.3692
	4	34.4902(*)	6.64735	.003	8.8012	60.1791
	5	237.8388(*)	5.84570	.000	214.7404	260.9371
	6	6.1195	14.91028	1.000	-58.7594	70.9985
	7	48.0913(*)	10.11753	.014	6.7511	89.4315
	8	27.6973	8.77545	.248	-7.2228	62.6174
	9	67.8364(*)	9.62373	.000	28.8821	106.7908
	10	225.8741(*)	5.11051	.000	203.8109	247.9373
	4	1	-173.1151(*)	22.10344	.001	-273.3218
2		-78.9616(*)	8.48608	.000	-112.7954	-45.1278
3		-34.4902(*)	6.64735	.003	-60.1791	-8.8012
5		203.3486(*)	5.67605	.000	181.0285	225.6687
6		-28.3706	14.84458	.979	-93.2878	36.5465
7		13.6012	10.02047	1.000	-27.6075	54.8098
8		-6.7929	8.66336	1.000	-41.4640	27.8783
9		33.3463	9.52164	.147	-5.4393	72.1318
10		191.3839(*)	4.91555	.000	170.2804	212.4874

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
5	1	-376.4637(*)	21.87572	.000	-477.1446	-275.7828
	2	-282.3102(*)	7.87391	.000	-315.1662	-249.4542
	3	-237.8388(*)	5.84570	.000	-260.9371	-214.7404
	4	-203.3486(*)	5.67605	.000	-225.6687	-181.0285
	6	-231.7192(*)	14.50333	.000	-297.0168	-166.4216
	7	-189.7474(*)	9.50761	.000	-230.6438	-148.8510
	8	-210.1415(*)	8.06466	.000	-243.9343	-176.3486
	9	-170.0023(*)	8.98034	.000	-208.3020	-131.7026
	10	-11.9647	3.76133	.267	-27.3991	3.4697
	6	1	-144.7444(*)	25.82036	.002	-247.5138
2		-50.5910	15.81590	.264	-115.8314	14.6494
3		-6.1195	14.91028	1.000	-70.9985	58.7594
4		28.3706	14.84458	.979	-36.5465	93.2878
5		231.7192(*)	14.50333	.000	166.4216	297.0168
7		41.9718	16.68948	.659	-24.7483	108.6918
8		21.5778	15.91172	1.000	-43.7800	86.9356
9		61.7169	16.39484	.084	-4.4091	127.8429
10		219.7545(*)	14.22293	.000	153.8780	285.6311
7		1	-186.7162(*)	23.38245	.000	-286.0303
	2	-92.5628(*)	11.41011	.000	-137.0276	-48.0980
	3	-48.0913(*)	10.11753	.014	-89.4315	-6.7511
	4	-13.6012	10.02047	1.000	-54.8098	27.6075
	5	189.7474(*)	9.50761	.000	148.8510	230.6438
	6	-41.9718	16.68948	.659	-108.6918	24.7483
	8	-20.3940	11.54257	.989	-65.2814	24.4933
	9	19.7451	12.19995	.997	-27.4222	66.9124
	10	177.7828(*)	9.07413	.000	136.4550	219.1105
	8	1	-166.3222(*)	22.83382	.001	-265.6989
2		-72.1688(*)	10.23888	.000	-111.7293	-32.6082
3		-27.6973	8.77545	.248	-62.6174	7.2228
4		6.7929	8.66336	1.000	-27.8783	41.4640
5		210.1415(*)	8.06466	.000	176.3486	243.9343
6		-21.5778	15.91172	1.000	-86.9356	43.7800
7		20.3940	11.54257	.989	-24.4933	65.2814
9		40.1391	11.11228	.088	-2.9149	83.1932
10		198.1768(*)	7.54877	.000	164.2070	232.1466

(I) GROUP	(J) GROUP	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
9	1	-206.4614(*)	23.17307	.000	-305.7504	-107.1723
	2	-112.3079(*)	10.97463	.000	-154.8909	-69.7249
	3	-67.8364(*)	9.62373	.000	-106.7908	-28.8821
	4	-33.3463	9.52164	.147	-72.1318	5.4393
	5	170.0023(*)	8.98034	.000	131.7026	208.3020
	6	-61.7169	16.39484	.084	-127.8429	4.4091
	7	-19.7451	12.19995	.997	-66.9124	27.4222
	8	-40.1391	11.11228	.088	-83.1932	2.9149
	10	158.0376(*)	8.52008	.000	119.3759	196.6994
	10	1	-364.4990(*)	21.69083	.000	-465.6539
2		-270.3455(*)	7.34463	.000	-303.3259	-237.3652
3		-225.8741(*)	5.11051	.000	-247.9373	-203.8109
4		-191.3839(*)	4.91555	.000	-212.4874	-170.2804
5		11.9647	3.76133	.267	-3.4697	27.3991
6		-219.7545(*)	14.22293	.000	-285.6311	-153.8780
7		-177.7828(*)	9.07413	.000	-219.1105	-136.4550
8		-198.1768(*)	7.54877	.000	-232.1466	-164.2070
9		-158.0376(*)	8.52008	.000	-196.6994	-119.3759

The mean difference is significant at the .05 level.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ฐ แสดง Independent Samples Test ระหว่างกลุ่ม 1 กับ 2

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BFS	1	10	433.0550	68.37000	21.62049
	2	10	338.9015	22.56041	7.13423

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
BFS	Equal variances assumed	14.354	.001	4.135	18	.001
	Equal variances not assumed			4.135	10.937	.002

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๗ แสดง Independent Samples Test ระหว่างกลุ่ม 2 กับ 3

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BFS	2	10	338.9015	22.56041	7.13423
	3	10	294.4301	15.18913	4.80322

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
BFS	Equal variances assumed	1.248	.279	5.171	18	.000
	Equal variances not assumed			5.171	15.768	.000

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๓ แสดง Independent Samples Test ระหว่างกลุ่ม 3 กับ 6

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BFS	3	10	294.4301	15.18913	4.80322
	6	10	288.3106	44.63691	14.11543

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
BFS	Equal variances assumed	5.563	.030	1.357	18	.191
	Equal variances not assumed			1.357	13.476	.197

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ณ แสดง Independent Samples Test ระหว่างกลุ่ม 6 กับ 8

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BFS	6	10	288.3106	44.63691	14.11543
	8	10	266.7328	23.22445	7.34422

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
BFS	Equal variances assumed	9.035	.008	1.356	18	.192
	Equal variances not assumed			1.356	13.540	.197

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ด แสดง Independent Samples Test ระหว่างกลุ่ม 7 กับ 8

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BFS	7	10	246.3388	28.15909	8.90469
	8	10	266.7328	23.22445	7.34422

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
BFS	Equal variances assumed	.638	.435	-.1767	18	.094
	Equal variances not assumed			-.1767	17.371	.095

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ต แสดง Independent Samples Test ระหว่างกลุ่ม 4 กับ 7

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BFS	4	10	259.9399	14.53145	4.59525
	7	10	246.3388	28.15909	8.90469

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
BFS	Equal variances assumed	5.563	.030	1.357	18	.191
	Equal variances not assumed			1.357	13.476	.197

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ๓ แสดง Independent Samples Test ระหว่างกลุ่ม 7 กับ 9

T-Test

Group Statistics

	GROUP	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
BFS	7	10	246.3388	28.15909	8.90469
	9	10	226.5936	26.37144	8.33938

Independent Samples Test

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means		
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)
BFS	Equal variances assumed	.000	.995	1.618	18	.123
	Equal variances not assumed			1.618	17.923	.123

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

พันตรีหญิง ปวีศา ธรรมวานิช เกิดที่โรงพยาบาลมิชชั่น จังหวัด กรุงเทพมหานคร เมื่อวันที่ 20 มิถุนายน พ.ศ. 2515 สัญชาติไทย เชื้อชาติไทย จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ทันตแพทยศาสตร์บัณฑิต พ.ศ. 2539 จากคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ รับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ โรงพยาบาลค่ายสรรพลีธิประสงค์ จังหวัดอุบลราชธานี ระหว่าง พ.ศ. 2539 - 2542 ต่อมาย้ายมารับราชการในตำแหน่งทันตแพทย์ที่กองพันเสนารักษ์ ที่ ๑๓ กองพลทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยาน จังหวัดกรุงเทพมหานคร ระหว่าง พ.ศ. 2542 - 2545 ปัจจุบันเป็นทันตแพทย์ประจำกองทันตกรรม แผนกทันตกรรมประดิษฐ์ โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย